

Docket No. 215231US2RD/btm

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Yuuzo KAMIGUCHI, et al.

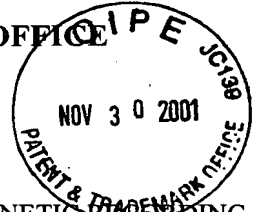
GAU: 2651

SERIAL NO: 09/981,987

EXAMINER:

FILED: October 19, 2001

FOR: MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT, MAGNETIC HEAD AND MAGNETIC RECORDING
AND/OR REPRODUCING SYSTEM



REQUEST FOR PRIORITY

RECEIVED

DEC 04 2001

Technology Center 2600

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number [US App No], filed [US App Dt], is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	2000-321171	October 20, 2000

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
(B) Application Serial No.(s)
 - ☐ are submitted herewith
 - ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.


Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

Joseph A. Scafetta, Jr.
Registration No. 26,803



22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 10/98)

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2000年10月20日

出願番号
Application Number:

特願2000-321171

出願人
Applicant(s):

株式会社東芝

RECEIVED

DEC 04 2001

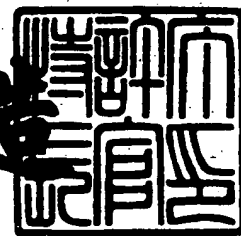
Technology Center 2600

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2001年10月19日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3092673

【書類名】 特許願

【整理番号】 12738801

【提出日】 平成12年10月20日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G11B 5/39
H01L 43/08

【発明の名称】 磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド及び磁気記録再生装置

【請求項の数】 16

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 株式会社東芝 研究
開発センター内

【氏名】 上 口 裕 三

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 株式会社東芝 研究
開発センター内

【氏名】 湯 浅 裕 美

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 株式会社東芝 研究
開発センター内

【氏名】 永 田 友 彦

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 株式会社東芝 研究
開発センター内

【氏名】 與 田 博 明

【特許出願人】

【識別番号】 000003078

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区堀川町 7 2 番地

【氏名又は名称】 株式会社 東 芝

【代理人】

【識別番号】 100064285

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐 藤 一 雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100088889

【弁理士】

【氏名又は名称】 橘 谷 英 俊

【選任した代理人】

【識別番号】 100082991

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐 藤 泰 和

【選任した代理人】

【識別番号】 100108062

【弁理士】

【氏名又は名称】 日 向 寺 雅 彦

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 004444

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド及び磁気記録再生装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁化の方向が実質的に一方向に固着された磁化固着層と、
磁化の方向が外部磁界に応じて変化する磁化自由層と、
前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性中間層と、
を備え、

前記磁化固着層の前記磁化の方向と前記磁化自由層の前記磁化の方向との相対
角度に応じて抵抗が変化する磁気抵抗効果素子であって、

前記抵抗の変化を検出するためのセンス電流が、前記磁化固着層、前記非磁性
中間層及び前記磁化自由層を膜面に対して略垂直方向に通電され、

前記センス電流の通過量を制限するフィルター層をさらに備えたことを特徴と
する磁気抵抗効果素子。

【請求項 2】

前記フィルター層は、連続的な薄膜からなることを特徴とする請求項 1 記載の
磁気抵抗効果素子。

【請求項 3】

前記フィルター層は、少なくとも 1 つの開口を有することを特徴とする請求項
1 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 4】

磁化の方向が実質的に一方向に固着された磁化固着層と、
磁化の方向が外部磁界に応じて変化する磁化自由層と、
前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性中間層と、
を備え、

前記磁化固着層の前記磁化の方向と前記磁化自由層の前記磁化の方向との相対
角度に応じて抵抗が変化する磁気抵抗効果素子であって、

前記抵抗の変化を検出するためのセンス電流が、前記磁化固着層、前記非磁性
中間層及び前記磁化自由層を膜面に対して略垂直方向に通電され、

前記センス電流を構成する伝導電子の一部を透過させる電流狭窄層をさらに備えたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 5】

磁化の方向が実質的に一方向に固着された磁化固着層と、
磁化の方向が外部磁界に応じて変化する磁化自由層と、
前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性中間層と、
を備え、

前記磁化固着層の前記磁化の方向と前記磁化自由層の前記磁化の方向との相対角度に応じて抵抗が変化する磁気抵抗効果素子であって、

前記抵抗の変化を検出するためのセンス電流が、前記磁化固着層、前記非磁性中間層及び前記磁化自由層を膜面に対して略垂直方向に通電され、

前記センス電流の電流量を低減させる障壁層をさらに備えたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 6】

磁化の方向が実質的に一方向に固着された磁化固着層と、
磁化の方向が外部磁界に応じて変化する磁化自由層と、
前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性中間層と、
を備え、

前記磁化固着層の前記磁化の方向と前記磁化自由層の前記磁化の方向との相対角度に応じて抵抗が変化する磁気抵抗効果素子であって、

前記抵抗の変化を検出するためのセンス電流が、前記磁化固着層、前記非磁性中間層及び前記磁化自由層を膜面に対して略垂直方向に通電され、

セミメタルを主成分とする層をさらに備えたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 7】

前記セミメタルを主成分とする層は、連続的な薄膜からなることを特徴とする請求項 6 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 8】

前記セミメタルを主成分とする層は、少なくとも 1 つの開口を有することを特

徴とする請求項 6 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 9】

磁化の方向が実質的に一方向に固着された磁化固着層と、
磁化の方向が外部磁界に応じて変化する磁化自由層と、
前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性中間層と、
を備え、

前記磁化固着層の前記磁化の方向と前記磁化自由層の前記磁化の方向との相対角度に応じて抵抗が変化する磁気抵抗効果素子であって、

前記抵抗の変化を検出するためのセンス電流が、前記磁化固着層、前記非磁性中間層及び前記磁化自由層を膜面に対して略垂直方向に通電され、

金 (A u)、銀 (A g) またはこれらの合金を主成分とする層をさらに備えたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 10】

前記金 (A u)、銀 (A g) またはこれらの合金を主成分とする層は、連続的な薄膜からなることを特徴とする請求項 9 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 11】

前記金 (A u)、銀 (A g) またはこれらの合金を主成分とする層は、少なくとも 1 つの開口を有することを特徴とする請求項 9 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 12】

磁化の方向が実質的に一方向に固着された磁化固着層と、
磁化の方向が外部磁界に応じて変化する磁化自由層と、
前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性中間層と、
を備え、

前記磁化固着層の前記磁化の方向と前記磁化自由層の前記磁化の方向との相対角度に応じて抵抗が変化する磁気抵抗効果素子であって、

前記抵抗の変化を検出するためのセンス電流が、前記磁化固着層、前記非磁性中間層及び前記磁化自由層を膜面に対して略垂直方向に通電され、

絶縁体を主成分とする層をさらに備えたことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 13】

前記絶縁体を主成分とする層は、連続的な薄膜からなることを特徴とする請求項 1 2 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 1 4】

前記絶縁体を主成分とする層は、少なくとも 1 つの開口を有することを特徴とする請求項 1 2 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 1 5】

請求項 1 ～ 1 4 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子を備えたことを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項 1 6】

請求項 1 5 記載の磁気ヘッドを備え、磁気記録媒体に格納された磁気的情報を読み取り可能としたことを特徴とする磁気再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド及び磁気再生装置に関し、より詳細には、薄膜面に対して垂直にセンス電流が流れるスピバルブ膜を用いた磁気抵抗効果素子、この磁気抵抗効果素子を搭載した磁気ヘッド及び磁気再生装置に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

ある種の強磁性体では、電気抵抗が外部磁界の強さに応じて変化するという現象が知られており、これは「磁気抵抗効果」と呼ばれている。この効果は外部磁場の検出に使うことができ、そのような磁場検出素子を「磁気抵抗効果素子（以下、MR素子と称する）」とよぶ。

【0 0 0 3】

このようなMR素子は、産業的には、ハードディスクや磁気テープ等の磁気記録再生装置において、磁気記録媒体に記憶された情報の読み出しに利用されており（IEEE MAG-7, 150(1971)等参照）、そのような磁気ヘッドは「MRヘッド」とよばれている。

【0004】

ところで近年、これらのMR素子が利用されている磁気記録再生装置、特にハードディスク装置においては、磁気記録密度の高密度化が進められており、1ビットのサイズが小さくなり、ビットからの漏れ磁束の量がますます減少している。このため、より低磁界でも大きな抵抗変化率を得ることができる高感度で高S/N比のMR素子を作ることが、磁気媒体に書き込んだ情報の読み出しには必須となってきており、記録密度向上のための重要な基盤技術となっている。

【0005】

ここで「高感度」とは、単位磁場(Oe)あたりの抵抗変化量(Ω)が大きい事を意味しており、より大きなMR変化量をもち、より軟磁気特性に優れているMR素子ほど高感度になる。また、高S/N比を実現するためには、熱雑音をできるだけ低減することが重要となる。このため素子抵抗自体はあまり大きくなることは好ましくなく、ハードディスク用読み取りセンサーとして用いる場合、良好なS/N比を実現するためには、素子抵抗としては $5\Omega \sim 30\Omega$ 程度の値とする事が望まれている。

【0006】

このような背景のもと、現在ではハードディスクMRヘッドに用いるMR素子としては、大きなMR変化率を得ることができるスピバルブ (spin-valve) 膜を用いることが一般化している。

【0007】

図25は、スピバルブ膜の概略断面構造を例示する概念図である。スピバルブ膜100は、強磁性層F、非磁性層S、強磁性層P及び反強磁性層Aをこの順に積層した構成を有する。非磁性層Sを挟んで、磁氣的に非結合な状態にある2つの強磁性層F、Pのうち、一方の強磁性層Pは反強磁性体Aを用いた交換バイアス等により磁化を固着しておき、もう片方の強磁性層Fは外部磁界(信号磁界等)により容易に磁化回転できるようにされている。そして、外部磁場によって強磁性層Fの磁化のみを回転させ、2つの強磁性層P、Fの磁化方向の相対的な角度を変化させ、大きな磁気抵抗効果を与えることができる(Phys. Rev. B45, 806(1992), J. Appl. Phys. 69, 4774(1991)等参照)。

【 0 0 0 8 】

ここで、強磁性層 F は、「フリー層」、「磁場感受層」あるいは「磁化自由層」などと称され、強磁性層 P は、「ピン層」あるいは「磁化固着層」などと称され、非磁性層 S は、「スペーサ層」、「非磁性中間層」あるいは「中間層」などと称される場合が多い。

【 0 0 0 9 】

スピバルブ膜は、低磁場でも、フリー層すなわち強磁性層 F の磁化を回転させることができるため、高感度化が可能であり、MR ヘッド用の MR 素子に適している。

【 0 0 1 0 】

このようなスピバルブ素子に対しては、磁界による抵抗の変化を検出するために「センス電流」を流す必要がある。

【 0 0 1 1 】

図 2 6 は、一般的に用いられている電流供給方式を表す概念図である。すなわち、現在は、図示したようにスピバルブ素子の両端に電極 E L、E L を設け、センス電流 I を膜面に対して平行に流し、膜面平行方向の抵抗を測定する方式が一般に用いられている。この方法は一般に「C I P (current-in-plane)」方式とよばれている。

【 0 0 1 2 】

C I P 方式の場合、MR 変化率としては 1 0 ～ 2 0 % 程度の値を得ることが可能となっている。また現在一般に用いられているシールドタイプの MR ヘッドでは、スピバルブ素子はほぼ正方形に近い形状で用いられるため、MR 素子の抵抗はほぼ MR 膜の面電気抵抗値に等しくなる。このため、C I P 方式のスピバルブ膜では面電気抵抗値を 5 ～ 3 0 Ω にすることにより良好な S/N 特性を得ることが可能となる。このことはスピバルブ膜全体の膜厚を薄くすることにより比較的簡単に実現することができる。これらの利点から、現時点では C I P 方式のスピバルブ膜が MR ヘッド用の MR 素子として一般的に用いられている。

【 0 0 1 3 】

しかしながら、1 0 0 G b i t / i n c h ² を超えるような高記録密度での情報

再生を実現するためにはMR変化率として30%を越える値が必要とされてくると予想される。これに対して従来のスピバルブ膜では、MR変化率として20%を越える値を得ることは難しい。このため、いかにこのMR変化率を大きくできるかが、更なる記録密度の向上のための大きな技術課題となっている。

【0014】

このような観点から、MR変化率を大きくする目的で、CIP-SV膜においてピン層、フリー層中に酸化物、窒化物、フッ化物、ホウ化物のいずれかからなる「電子反射層」を挿入したスピバルブが提案されている。

【0015】

図27は、このようなスピバルブ膜の断面構成を表す概念図である。すなわち、同図の構成においては、ピン層Pとフリー層Fにそれぞれ電子反射層Rが挿入されている。スピバルブ膜では、各層の界面で電子散乱が起こると見かけ上の平均自由行程が減少し、MR変化率が減少してしまう。これに対して、電子反射層Rを設けて電子を反射することにより、電子の見かけ上の平均自由行程を増加させ、大きなMR変化率を得ることが可能となる。

【0016】

また、この構成では電子を反射することによって、電子が磁性体／非磁性体の界面を通り抜ける確率も上昇するため、見かけ上、人工格子膜における場合と同様な効果を得ることが可能となり、MR変化率が増大する。

【0017】

しかし、この構成においても、全ての電子が磁性体／非磁性体の界面を通り抜けるわけではないため、MR変化率の増大には限界がある。このため上述のような電子反射層を挿入したCIP-SV膜においても20%を越えるような大きなMR変化率と、5～30Ωの実用的な抵抗変化量を実現することは実質的に困難となっている。

【0018】

一方、30%を越えるような大きなMRを得る方法として、磁性体と非磁性体を積層した人工格子において膜面に垂直方向（current perpendicular to plane：CPP）にセンス電流を流す形式の磁気抵抗効果素子（以下CPP-人工格子

）が提案されている。

【0019】

図28は、CPP-人工格子形の素子の断面構造を表す概念図である。この形式の磁気抵抗効果素子では、強磁性層と非磁性層とを交互に積層した人工格子SLの上下に電極ELがそれぞれ設けられ、センス電流Iが膜面に対して垂直方向に流れる。この構成では、電流Iが磁性層／非磁性層界面を横切る確率が高くなるため、良好な界面効果を得ることが可能となり大きなMR変化率が得られることが知られている。

【0020】

しかしながら、このようなCPP人工格子タイプの膜では、極薄の金属膜の積層構造からなる人工格子SLの膜面垂直方向の電気抵抗を測定する必要がある。しかしこの抵抗値は一般に非常に小さな値になってしまう。したがってCPP人工格子では、抵抗値をできるだけ大きくすることが重要な技術課題となっている。従来はこの値を大きくするために、人工格子SLと電極ELとの接合面積を可能な限り小さくして、かつ人工格子SLの積層回数を増やし、総膜厚をふやすことが必須となっている。たとえば、素子の形状を $0.1\mu\text{m} \times 0.1\mu\text{m}$ にパターンニングした場合、 $\text{Co } 2\text{nm}$ と $\text{Cu } 2\text{nm}$ とを交互に10回積層すれば、総膜厚は 20nm となり、 1Ω 程度の抵抗値を得ることはできる。しかし、これでもまだ十分に大きな抵抗値とは言えず、さらに多層化することが必要とされる。

【0021】

以上のような理由から、CPP人工格子タイプの膜で、十分なヘッド出力を得、良好なハードディスク用読み取りセンサーとして用いるためには、スピンバルブタイプではなく人工格子タイプにすることが抵抗の面からみると必須であることがわかる。

【0022】

しかし一方で、MR素子をMRヘッドにもちいる場合には、磁性層の磁化の制御を行い、効率よく外部磁場の計測を行えるようにしながら、同時にバルクハウゼンノイズ等が発生しないように、各磁性層を単磁区化することが必要となってくる。しかし、上述したように、CPP-MR素子では抵抗値を稼ぐために磁性

層と非磁性層を交互に何度も積層する必要があり、そのような多くの磁性層にたいして、個別に磁化の制御を行うことは技術上非常に困難となっている。

【0023】

また、MR素子をMRヘッドにもちいる場合には、小さな信号磁界に対して高感度に磁化が回転し、大きなMR変化率が得られるようにする必要がある。このためには、センシング部分での信号磁束密度を向上させ、おなじ磁束密度でもより大きな磁化回転量が得られるようにする必要がある。したがって外部磁場によって磁化が回転する層のトータルの Mst （磁化×膜厚）を小さくする必要がある。しかし、CPP-MR素子では抵抗値を稼ぐために磁性層と非磁性層とを交互に何度も積層する必要があり、 Mst が増大してしまうため、信号磁束に対する感度を向上させることが困難となっている。

【0024】

このため、CPP人工格子タイプの膜では、30%を越えるMR変化率は期待できるものの磁気ヘッド用のMRセンサーとして用いるには高感度化が困難となっており、実質上不可能となっている。

【0025】

一方、 $FeMn/NiFe/Cu/NiFe$ 、 $FeMn/CoFe/Cu/CoFe$ 等を用いたスピバルブ構造においてCPP方式を採用することも考えられる。

【0026】

図29は、CPP-SV素子の断面構成を表す概念図である。しかし、このようなCPP-SV構成において、抵抗値を大きくするためには磁性層の厚さを20nm程度まで厚くする必要があり、その場合でも抵抗変化率は、4.2Kで30%程度にとどまり、室温においては更にその半分の15%程度の抵抗変化率しか得られないだろうことが予測される。

【0027】

つまり、CPP方式のスピバルブ膜では、15%程度のMR変化率しか得られず、しかもフリー層の Mst も大きくせざるを得ないため、ヘッド用のMRセンサーとして用いるには高感度化が困難となっており、実質上用いることは困難

となっている。

【0028】

【発明が解決しようとする課題】

以上説明したように、CIP方式のスピンバルブ膜、CPP方式の人工格子、CPP方式のスピンバルブ等、様々な方式が提案されているものの、現時点では $100\text{ Gbit}/\text{inch}^2$ を超えるような高記録密度で用いることができる、適当な抵抗値と、大きなMR変化量をもち、かつ磁氣的に高感度となるようなスピンバルブ膜は実現が困難となっている。

【0029】

本発明は、このような課題の認識に基づいてなされたものであり、その目的は、スピン依存散乱効果を有効的に利用しながら、適当な抵抗値を有し、高感度化が可能で、かつ制御すべき磁性体層の数の少ない、実用的な磁気抵抗効果素子、それを用いた磁気ヘッド及び磁気記録再生装置を提供することにある。

【0030】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明の磁気抵抗効果素子は、磁化の方向が実質的に一方向に固着された磁化固着層と、磁化の方向が外部磁界に応じて変化する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性中間層と、を備え、

前記磁化固着層の前記磁化の方向と前記磁化自由層の前記磁化の方向との相対角度に応じて抵抗が変化する磁気抵抗効果素子であって、前記抵抗の変化を検出するためのセンス電流が、前記磁化固着層、前記非磁性中間層及び前記磁化自由層を膜面に対して略垂直方向に通電され、前記センス電流の通過量を制限するフィルター層をさらに備えたことを特徴とする。

【0031】

ここで、前記フィルター層は、連続的な薄膜からなるものとすることができ、または、前記フィルター層は、少なくとも1つの開口を有するものとすることができる。

【0032】

または、本発明の磁気抵抗効果素子は、磁化の方向が実質的に一方向に固着された磁化固着層と、磁化の方向が外部磁界に応じて変化する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性中間層と、を備え、

前記磁化固着層の前記磁化の方向と前記磁化自由層の前記磁化の方向との相対角度に応じて抵抗が変化する磁気抵抗効果素子であって、前記抵抗の変化を検出するためのセンス電流が、前記磁化固着層、前記非磁性中間層及び前記磁化自由層を膜面に対して略垂直方向に通電され、前記センス電流を構成する伝導電子の一部を透過させる電流狭窄層をさらに備えたことを特徴とする。

【 0 0 3 3 】

または、本発明の磁気抵抗効果素子は、磁化の方向が実質的に一方向に固着された磁化固着層と、磁化の方向が外部磁界に応じて変化する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性中間層と、を備え、

前記磁化固着層の前記磁化の方向と前記磁化自由層の前記磁化の方向との相対角度に応じて抵抗が変化する磁気抵抗効果素子であって、前記抵抗の変化を検出するためのセンス電流が、前記磁化固着層、前記非磁性中間層及び前記磁化自由層を膜面に対して略垂直方向に通電され、前記センス電流の電流量を低減させる障壁層をさらに備えたことを特徴とする。

【 0 0 3 4 】

または、本発明の磁気抵抗効果素子は、磁化の方向が実質的に一方向に固着された磁化固着層と、磁化の方向が外部磁界に応じて変化する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性中間層と、を備え、

前記磁化固着層の前記磁化の方向と前記磁化自由層の前記磁化の方向との相対角度に応じて抵抗が変化する磁気抵抗効果素子であって、前記抵抗の変化を検出するためのセンス電流が、前記磁化固着層、前記非磁性中間層及び前記磁化自由層を膜面に対して略垂直方向に通電され、セミメタルを主成分とする層をさらに備えたことを特徴とする。

【 0 0 3 5 】

ここで、前記セミメタルを主成分とする層は、連続的な薄膜からなるものとすることができ、または、前記セミメタルを主成分とする層は、少なくとも1つの

開口を有するものとすることもできる。

【0036】

または、本発明の磁気抵抗効果素子は、磁化の方向が実質的に一方向に固着された磁化固着層と、磁化の方向が外部磁界に応じて変化する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性中間層と、を備え、

前記磁化固着層の前記磁化の方向と前記磁化自由層の前記磁化の方向との相対角度に応じて抵抗が変化する磁気抵抗効果素子であって、前記抵抗の変化を検出するためのセンス電流が、前記磁化固着層、前記非磁性中間層及び前記磁化自由層を膜面に対して略垂直方向に通電され、金（Au）、銀（Ag）またはこれらの合金を主成分とする層をさらに備えたことを特徴とする。

【0037】

ここで、前記金（Au）、銀（Ag）またはこれらの合金を主成分とする層は、連続的な薄膜からなるものとすることができ、または、前記金（Au）、銀（Ag）またはこれらの合金を主成分とする層は、少なくとも1つの開口を有するものとすることもできる。

【0038】

または、本発明の磁気抵抗効果素子は、磁化の方向が実質的に一方向に固着された磁化固着層と、磁化の方向が外部磁界に応じて変化する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性中間層と、を備え、

前記磁化固着層の前記磁化の方向と前記磁化自由層の前記磁化の方向との相対角度に応じて抵抗が変化する磁気抵抗効果素子であって、前記抵抗の変化を検出するためのセンス電流が、前記磁化固着層、前記非磁性中間層及び前記磁化自由層を膜面に対して略垂直方向に通電され、絶縁体を主成分とする層をさらに備えたことを特徴とする。

【0039】

ここで、前記絶縁体を主成分とする層は、連続的な薄膜からなるものとすることができ、または、前記絶縁体を主成分とする層は、少なくとも1つの開口を有するものとすることもできる。

【0040】

一方、本発明の磁気ヘッドは、上記の本発明のいずれかの磁気抵抗効果素子を備えたことを特徴とする。

【0041】

また、本発明の磁気再生装置は、上記の本発明の磁気ヘッドを備え、磁気記録媒体に格納された磁気的情報を読み取り可能としたことを特徴とする。

【0042】

なお、本発明の磁気抵抗効果素子は、非磁性導電層とこれに隣接する強磁性層との界面において、強磁性層の磁化方向に依存して、電子が散乱する界面散乱現象に基づくものである。

【0043】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しつつ本発明の実施の形態について説明する。

【0044】

(第1の実施の形態)

図1は、本発明の第1の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構造を表す概念図である。すなわち、本発明の磁気抵抗効果素子10Aは、図示しない所定の基板の上に、反強磁性層A、第1の磁性層P、中間非磁性層S、第2の磁性層Fの順に積層されている。そして、第1の磁性層Pには電子反射層R1が挿入され、第2の磁性層Fには電子反射層R2が挿入されている。

【0045】

さらに、この積層構造の上下には、電極層ELが設けられ、センス電流Iを膜面に対して垂直方向に流すことが特徴となっている。

【0046】

本具体例においては、第1の磁性層Pは、その磁化が反強磁性層Aによる一方向異方性により固定された「ピン層」として作用する。また、第2の磁性層Fは、図示しない磁気記録媒体などから発生される外部磁場（例えば信号磁界など）により磁化回転される「磁場感受層」あるいは「フリー層」として作用する。

【0047】

第1の磁性層Pと第2の磁性層Fは、それぞれ電子反射層R1、R2が挿入さ

れ、強磁性体層 FM / 電子反射層 R 1 または R 2 / 強磁性体層 FM という積層構造を有する。この構造においては、電子反射層 R 1、R 2 を挟んだ両側の強磁性体層は強磁性磁気結合をしており、その磁化は実質的に一体として振舞う。すなわち、この強磁性体層 / 電子反射層 / 強磁性体層の積層構造に含まれるそれぞれの強磁性体層の磁化は、全てほぼ平行にそろった状態にあり、ピン層（第 1 の磁性層 P）においてはほぼ同一方向に磁化固着されており、フリー層（第 2 の磁性層 F）においては外部磁場に対してほぼ同一の磁化方向をもつ。

【 0 0 4 8 】

本具体例においては、電流 I は上部電極 E L から下部電極 E L に向かってながれるが、その一部は図示したように電子反射層 R 1、R 2 によって反射される。ここで、電子反射層 R 1、R 2 は、電流を膜厚方向に流しつつ、かつその電流量を低減するものであり、この層の挿入により磁気抵抗効果素子の抵抗を上げることができる。つまり、電子反射層 R 1、R 2 は、センス電流 I の通過量を制限する「フィルター層」、または、センス電流 I を構成する伝導電子の一部を透過させる「電流狭窄層」、または、センス電流 I の電流量を低減させる「障壁層」、として作用する。さらに、低減された電流 I は 2 つの電子反射層 R 1、R 2 の間で何度か反射を繰り返しながら流れることになる。これによって電子が CPP スピンバルブ構造を無反射で通過する確率は減少するため全体として大きく電気抵抗を増大させることが可能となる。

【 0 0 4 9 】

同時に、電子は 2 つの電子反射層 R 1、R 2 の間で何度か反射を繰り返す為、強磁性体層 / 非磁性体層の界面を多数回通過することになる。CPP スピンバルブ膜においては、強磁性体層 / 非磁性体層の界面における電子散乱の効果、すなわち界面抵抗が、大きなスピン依存性を持ち CPP - MR を増大させる役目を担っている。また、界面抵抗は、比較的大きな値を持つ傾向がある。これらの特徴は、図 2 8 に関して前述した CPP 人工格子における作用と同様である。

【 0 0 5 0 】

従って、電子を反射して界面をより多数回通過させることにより、膜面垂直方向の抵抗値を増大させることができる。その結果として、本発明によれば、より

多くの界面抵抗を利用することができ、従来のC P P スピンバルブ膜に比べて、高抵抗で高MR変化率のC P P - S V を実現することが可能となる。

【 0 0 5 1 】

また、本具体例においては、電流 I が膜面に対して垂直方向に流れるC P P 方式をとっているため、すべての電流 I は強磁性体層／非磁性体層の界面を横切ることになる。その結果として、C I P 方式の場合には有効に利用できなかった界面効果を極めて有効に利用することが可能となる。このため、C I P 構成ではあまり得られなかったMR変化率の増大効果を極めて顕著に得ることが可能になる。

【 0 0 5 2 】

以上の効果により、スピンバルブ構成でありながら、界面抵抗を良好に利用し、適度な抵抗値を持ったC P P スピンバルブ素子を提供することが可能となる。

【 0 0 5 3 】

また、本具体例においては、ピン層P、フリー層Fの磁化はそれぞれ一体として動作する為、磁化の制御はピン層Pの磁化固着と1つのフリー層Fの磁化制御のみによって可能になり、磁気ヘッド等の読み取りセンサーとして用いる場合には、バルクハウゼンノイズが抑制された磁気ヘッドを実現することが可能になる。

【 0 0 5 4 】

また、本具体例においては、ピン層P、フリー層Fの合計の厚さを薄くしたまま、良好な抵抗値とMR変化率とを得ることが可能となる。すなわち、本構成においては、従来の単純なC P P スピンバルブ構成と比較すると、電子の単純透過確率を減少させ、抵抗値を増大させるとともに、界面抵抗を十分に利用することが可能となるため、ピン層P、フリー層Fのトータルの $M s t$ が小さい構造においても、十分な抵抗値とMR変化率を得ることが可能となる。

【 0 0 5 5 】

具体的には、従来構成ではピン層P、フリー層Fの磁性体の厚さとしては20 nm程度必要であったが、本発明によれば、トータルの磁性層厚が5 nm以下でも十分な特性を得ることが可能になる。これによって、フリー層Fの $M s t$ を小

さな値に保つことが可能となり、高感度なスピバルブ素子を実現することができる。また、ピン層PのM s t も小さくすることが可能となるため、反強磁性層Aによる磁化固着特性を向上させることができ、デバイスとしての信頼性を向上させることが可能となる。

【 0 0 5 6 】

本具体例における電子反射層R 1、R 2としては、B i (ビスマス)、S b (アンチモン)、C (炭素)等の半金属(セミメタル)や、Z n S e (セレン化亜鉛)等のいわゆるゼロギャップ半導体を用いることができる。これらの材料においては、絶縁体とは異なり、伝導電子は存在しているが、その密度が非常に小さいため、伝導電子が感じるポテンシャルは非常に小さくなっている。具体的にはC u (銅)等の金属が7 e V程度のフェルミポテンシャルを持っているのに対して、半金属におけるフェルミポテンシャルは1 e V以下の小さな値となっている。

【 0 0 5 7 】

このため、強磁性体となる金属層中に、半金属やゼロギャップ半導体からなる電子反射層R 1、R 2を挟むと、図2に例示したように大きなポテンシャルの段差が生じ、伝導電子は反射されるようになる。すなわち、図2 (a)は、ピン層Pとフリー層Fの磁化が平行の場合、図2 (b)は、反平行の場合について、それぞれ電子が感じるポテンシャルをアップスピンの場合とダウンスピンの場合について図示したグラフである。

【 0 0 5 8 】

本発明の構成においては、電子反射層R 1、R 2の中にも伝導電子が存在するため、トンネルによる電子の透過確率よりも、伝導電子による伝導の方が十分に大きくなっており、通常の伝導が全体の抵抗値を支配している。このため、強磁性トンネル接合の場合に比べると低抵抗化が可能であり、微少接合において良好な素子抵抗を得ることが可能となる。

【 0 0 5 9 】

これらの材料におけるフェルミポテンシャルの値は、1 e V ~ 0 e Vの範囲にあることが望ましい。より望ましくは、0. 5 e V ~ 0 e Vの範囲が適している

。その理由は、まず第1に、これらの材料においては、フェルミポテンシャルの値が小さければ小さいほど、電子の感じるポテンシャルに段差をつけることが可能になるため、電子の透過確率を小さくすることが可能になるからである。また、セミメタル中の伝導電子数自体も少なくなるため、電子の透過確率を非常に小さくすることが可能になる。0.5 eVの場合、伝導電子数は約 3.5×10^{20} 個となりCu等の貴金属に比べると電子数は2桁程度小さな値となるため、大きな抵抗増大を望むことができる。したがって、これらの材料におけるフェルミポテンシャルの値は0.5 eV 以下とする事が望ましい。しかし、1 eV以下であれば、伝導電子数は約 4.6×10^{21} 個となりCu等の貴金属に比べると電子数は1桁程度小さな値となるため十分に抵抗を増加させる効果を生じさせることができる。

【0060】

また、本具体例における電子反射層R1、R2の材料としては、Au（金）、Ag（銀）もしくはそれらの合金を用いることもできる。ただし、この場合には、あまり大きなポテンシャルの段差を形成することが難しいため、大きな抵抗増大を得ることは容易ではない。

【0061】

また、本具体例における電子反射層としては、ポテンシャルバリアの高さが比較的低い絶縁体を用いることもできる。図3は、この構成に対応したポテンシャル図である。すなわち、図3（a）は、ピン層とフリー層の磁化が平行の場合、図3（b）は、反平行の場合について、それぞれ電子が感じるポテンシャルをアップスピンの場合とダウンスピンの場合について図示したグラフである。

【0062】

本具体例の場合は、電子の透過確率は電子反射層R1、R2における電子のトンネル確率によって決まる。従って、バリアハイトが高くなると素子抵抗が高くなり過ぎるために、電子反射層R1、R2のバリアハイトは、0.1 eV以下である事が望ましい。

【0063】

一方、本具体例における電子反射層R1、R2として、ピンホールが形成され

た絶縁体を用いることができる。この場合には、電子の透過確率は、ピンホール
のサイズや密度などによって決定される。図4は、本具体例の断面構成を表す概
念図である。同図に表したように、電子反射層R1、R2にピンホールHを適宜
設けることができる。ここで、ピンホールHのサイズを、電子の平均自由行程と
同程度以下にすると、より大きな抵抗増大効果を得ることが可能となる。また、
ピンホールHの密度は、例えば、素子の膜面内に少なくとも10個以上のピンホ
ールが形成されていることが、素子特性の再現性の点からは望ましい。但し、逆
に素子中にただ一つのピンホールHが存在するようにすることもできる。また、
ピンホールHのトータル面積と素子の膜面積との比率についても適宜決定するこ
とができるが、望ましくは50%以下であることが素子抵抗を上昇させるために
は理想的である。

【0064】

図4の具体例においては、電子の透過確率はピンホールHを通した電気伝導に
よって決まる。従って、電子反射層R1、R2を構成する材料として、バリアハ
イトの大きい絶縁体、例えばAl（アルミニウム）酸化物やSi（シリコン）酸
化物などを用いることもできる。ただし、Co（コバルト）酸化物、Ni（ニッ
ケル）酸化物、Cu（銅）酸化物などのバリアハイトの低い材料を用いることも
できる。その場合でも、電気伝導は主にピンホールHによって支配される。

【0065】

また、図4の具体例における電子反射層R1、R2の厚さも適宜決定すること
ができるが、ピンホールHの形成を確実且つ容易にするためには、0.5nm～
10nmの範囲に設定することが望ましい。

【0066】

ピン層Pとフリー層Fのそれぞれの電子反射層R1、R2におけるピンホール
Hの位置は、特にコントロールしなくてもよい。この場合は、ランダムに形成さ
れているピンホールHを通した電気伝導が得られる。

【0067】

この様なピンホールHを持った電子反射層R1、R2の形成方法としては、た
とえば Alの極薄層をスパッタ等の方法によって形成したあと、酸素雰囲気

短時間さらし、自然酸化により形成することができる。また、そのほかにも、Al などの極薄層を、酸素プラズマにさらしたり、酸素イオンを照射したり、酸素ラジカルを照射したような、エネルギーを与える方法でも形成できる。

【 0 0 6 8 】

また、被酸化層として、例えば Al-C のように、比較的酸化されやすい材料と酸化されにくい材料とを同時成膜することにより Al-C のグラニューラー（粒状）膜を形成しておき、それを酸素にさらすことにより、Al のみを選択的に酸化することによっても形成できる。

【 0 0 6 9 】

また、それ以外にも、酸素雰囲気中で成膜することによりピンホール H を持った酸化層を形成することができる。

【 0 0 7 0 】

また、このようなピンホール H を持った電子反射層 R 1、R 2 の別の形成方法としては、例えば、AFM (atomic force microscope) 等を用いた微細加工、また自己組織化により規則的に配列したピンホール H を形成することもできる。AFM 等を用いた微細加工の際には、たとえば AlO_x（酸化アルミニウム）の連続膜を形成しておき、その AlO_x に穴を開けることにより形成できる。また、自己組織化により規則的に配列したピンホールを形成する場合には、例えば、AlO_x の連続膜を形成しておき、その AlO_x 上に自己組織化によりピンホールが形成されるレジストを塗布し、そのピンホール部分の AlO_x をミリングや RIE 等により除去して形成することができる。また、自己組織化により整列したピンホール H を持った絶縁体を直接、形成することもできる。

【 0 0 7 1 】

このように制御された方法でピンホール H を形成する場合には、2 つの電子反射層 R 1、R 2 におけるピンホール H の位置関係が重要になる。すなわち、図 5 (a) に例示したように、上下の電子反射層 R 1、R 2 の間で、ピンホール H の位置を同じ場所になるようにすることもできる。また、図 5 (b) に例示したように、上下の電子反射層 R 1、R 2 の間でピンホール H の位置がずれているように設けることもできる。図 5 (b) に例示したように位置がずれていた方が、よ

り効果的な電子反射を得ることができ、より高抵抗なC P P スピンバルブ素子を実現することができる。

【 0 0 7 2 】

また、制御された方法でピンホールHを形成する場合には、2つの電子反射層R 1、R 2におけるピンホールHの大きさの関係も調節することができる。すなわち、ピンホールHの大きさを、上下の電子反射層R 1、R 2の間で同じになるようにすることもでき、または、異なるようにすることもできる。電子反射層R 1、R 2のうちで、電子が入ってくるほうの電子反射層のピンホールHの大きさを電子が出てゆくほうのピンホールの大きさよりも大きくした方が、より効果的な電子反射を得ることができ、より高抵抗なC P P スピンバルブ素子を形成することができる。

【 0 0 7 3 】

また、強磁性体層／電子反射層の積層構造における電子反射層R 1、R 2は、必ずしも1層だけで構成されている必要はなく、図6に例示したように、2層以上の電子反射層R 1 A、R 1 BあるいはR 2 A、R 2 Bを含んでいてもよい。このように複数の電子反射層を挿入することにより、電子の単純透過確率をさらに減少させることが可能となり、さらに高抵抗なC P P - S Vを実現することができる。

【 0 0 7 4 】

また、フリー層Fの側においては、図7に例示したように、電子反射層R 2を強磁性体層F Mの内部に挿入せずに、非磁性層N M 1、N M 2により挟持して配置することも可能である。このようにすることによって、電子反射層R 2によってフリー層Fの磁気特性にあたえる影響を最小限にとどめることが可能になり、軟磁気特性との両立が容易になる。

【 0 0 7 5 】

以上具体例を挙げた本実施形態における第1および第2の磁性体層P、Fに含まれている強磁性体層は、例えばC o単体やC o系磁性合金のようなC oを含む強磁性体、あるいはN i F e合金のようなN i基合金、あるいはF e基合金等により構成することができる。

【0076】

ここで、Fe 基合金としては、Fe (鉄)、FeNi (鉄ニッケル)、FeCo (鉄コバルト)、FeSi (鉄シリコン)、FeMo (鉄モリブデン)、FeAl (鉄アルミニウム) などの軟磁気特性を得られやすい材料を用いることが望ましい。

【0077】

また、Co 系合金としては、Co に対して、Fe (鉄)、Ni (ニッケル)、Au (金)、Ag (銀)、Cu (銅)、Pd (パラジウム)、Pt (白金)、Ir (イリジウム)、Rh (ロジウム)、Ru (ルテニウム)、Os (オスミウム)、Hf (ハフニウム) のうちのいずれか1種または2種以上を添加した合金が挙げられる。これら添加元素の添加量は、5～50原子%とすることが好ましく、さらには8～20原子%の範囲とすることが望ましい。これは、添加量が少なすぎると、バルク効果が十分に増加せず、逆に添加量が多すぎると、今度は界面効果が大きく減少するおそれがあるからである。添加元素としては、大きなMR変化率を得るためには、特にFeを用いることが望ましい。

【0078】

また、本実施形態における第1および第2の磁性層P、Fに含まれている強磁性体層は、図8に例示したように、強磁性体層FMと非磁性体層NMとの積層構造としても良い。この強磁性体層FM/非磁性体層NMの積層構造においては、非磁性体層NMを挟んだ強磁性体層FM同士は強磁性磁気結合をしており、実質的に磁化はほぼ平行にそろった状態にあり、ほぼ同一の磁化方向を持っている。

【0079】

図8に例示したような積層構造膜をピン層P、フリー層Fに採用すると、電子はより多数の強磁性体層/非磁性体層の界面を通過するようになる。CPPスピバルブ膜においては、強磁性体層/非磁性体層の界面における電子散乱の効果、すなわち界面抵抗が大きなスピン依存性をもち、CPP-MRを増大させるという作用効果を有する。本具体例においては、より多くの界面抵抗を利用することができ、より高抵抗で、より大きな抵抗変化率を得ることが可能となる。なお、図8においてフリー層Fと電極ELとの間には、電気伝導度が高い高導

電層 G が設けられている。

【 0 0 8 0 】

電子反射層 R 1、R 2 の挿入は、特に C P P スピンバルブ膜の高抵抗化に効果があるが、ピン層 P、フリー層 F を積層化することは、特に M R 比の増大に効果がある。このため、この 2 つの組み合わせることにより、特に高抵抗で、高 M R 変化率の C P P スピンバルブ膜を得ることが可能となる。

【 0 0 8 1 】

本具体例における強磁性体層 F M / 非磁性体層 N M の積層構造膜としては、磁性体層 F M / 非磁性体層 N M の界面において大きなスピン依存界面抵抗を得ることが望ましい。そのような強磁性体、非磁性体の組み合わせとしては、強磁性体層 F M の材料としては F e 基合金、C o 基合金、N i 基合金を用い、非磁性体層 N M の材料としては C u、A g、A u もしくはそれらの合金を用いることが望ましい。

【 0 0 8 2 】

また、非磁性体層 N M の材料としては、これら以外にも、特に、R h (ロジウム)、R u (ルテニウム)、M n (マンガン)、C r (クロム)、R e (レニウム)、O s (オスミウム) I r (イリジウム) などの非強磁性金属を用いることも望ましい。特に、M n あるいは R e をもちいることが望ましい。

【 0 0 8 3 】

これらのうちでは、界面抵抗が特に大きい組み合わせとして、F e 基合金 / A u、F e 基合金 / A g、もしくは F e 基合金 / A u - A g 合金界面、C o 基合金 / C u、C o 基合金 / A g、C o 基合金 / A u、もしくは C o 基合金 / C u - A g - A u 合金界面などを挙げることができる。

【 0 0 8 4 】

強磁性体層 F M / 非磁性体層 N M の積層構造に含まれている強磁性体層 F M の膜厚としては、ピン層 P においては磁氣的安定性を増加させ、フリー層 F においては M s t を薄くして高感度化を測るためには、できるだけ薄くすることが望ましい。膜厚の上限としては、界面数を増やすためには 2 n m 以下であることが望ましい。

【 0 0 8 5 】

一方、本具体例における強磁性体層 FM / 非磁性体層 NM の積層構造を形成する材料の組み合わせとしては、界面抵抗を良好に得るためには、非固溶系の組み合わせであることが望ましい。つまり、強磁性体層 FM と非磁性体層 NM を構成する材料が互いに非固溶の関係にあることが望ましい。しかし、要求されるレベルに応じて、必ずしも非固溶系の組み合わせに限定する必要はない。

【 0 0 8 6 】

また、本具体例における強磁性体層 FM / 非磁性体層 NM の積層構造における強磁性体層 FM は、必ずしも 1 種の材料で構成されている必要はなく、図 9 に例示したように、2 種以上の強磁性体の積層膜で構成されていても良い。すなわち、図 9 に表した例においては、ピン層 P とフリー層 F は、それぞれ第 1 の強磁性体層 FM 1、第 2 の強磁性体層 FM 2、第 3 の強磁性体層 FM 3 を積層した構成を有する。但し、強磁性体層の種類や層数あるいは積層の順序は、同図に限定されるものではない。

【 0 0 8 7 】

例えば、ピン層 P においては、界面抵抗の大きな Fe / Au 界面を用いることが望ましいが、Fe はスピンの揺らぎが大きい為に、室温で用いる為にはスピンの揺らぎを抑えることが望ましい。そのためには強磁性体層として、Fe / Co Fe / Fe、Fe / Ni Fe / Fe などのように、スピン揺らぎの小さな磁性体との積層構造とすることが望ましい。

【 0 0 8 8 】

一方、フリー層 F においても、界面抵抗の大きな Fe / Au 界面を用いることが望ましいが、Fe だけではフリー層として必要な軟磁気特性を得ることが難しい。そのため、強磁性体層としては、Fe / Co Fe / Fe、Fe / Ni Fe / Fe などのように、軟磁気特性の優れている磁性材料との積層構造とする事が望ましい。

【 0 0 8 9 】

また、強磁性体層 / 電子反射層の積層構造における強磁性体層も、必ずしも 1 種の材料で構成されている必要はない。

【 0 0 9 0 】

図 1 0 は、電子反射層を挟む強磁性体層が 2 種以上の強磁性体層により構成されている場合を例示する概念図である。すなわち、同図に表した具体例においては、ピン層 P とフリー層 F とが、それぞれ第 1 の強磁性体層 FM 1 と第 2 の強磁性体層 FM 2 とを有する。

【 0 0 9 1 】

例えば、フリー層 F においては、界面抵抗の大きな Fe / Au 界面を用いることが望ましいが、Fe だけではフリー層として必要な軟磁気特性を得ることが難しい。これに対して、強磁性体層として強磁性結合した Co Fe, Ni Fe 等の軟磁気特性の優れている磁性材料からなる磁性体層を付加することにより、軟磁気特性を向上させることが可能になる。

【 0 0 9 2 】

また強磁性体層 FM / 非磁性体層 NM の積層構造における強磁性体層 FM に、Fe もしくは Fe 基合金が含まれる場合には、結晶構造が f c c (face centered cubic) 構造であることが望ましい。これは Au, Ag, Cu 等の f c c 金属を積層をした場合に、より安定にでき、また、全体として結晶性の良好な積層構造を構成することが可能になり、軟磁気特性の向上、スピン揺らぎの減少等の効果が得られるからである。但し、b c c 構造を用いることもできる。

【 0 0 9 3 】

特に、強磁性体層 / 非磁性体層の積層構造における強磁性体層として 2 種類の磁性体を組み合わせる場合には 図 1 1 に例示したように f c c 構造の強磁性体層 FM (f c c) と b c c 構造の強磁性体層 FM (b c c) とを組み合わせることもできる。このような組み合わせにおいては、f c c の強磁性体 FM (f c c) と b c c 強磁性体 FM (b c c) の電子状態、フェルミ面の形状、状態密度の分布等が大きく異なるため、顕著な伝導電子のフィルター効果を得ることが可能となり、大きな抵抗と MR 変化率を得ることが可能となる。図示したように、第 1 の磁性層 P は b c c 構造の強磁性体層、第 2 の磁性層 F は f c c 構造の強磁性体層というように、ピン層 P とフリー層 F とで結晶構造が異なる構成にしても大きなフィルター効果を得ることが可能となる。

【 0 0 9 4 】

また、本発明においては、ピン層 P、フリー層 F を構成する強磁性体層／非磁性体層の積層構造において強磁性体層同士は強磁性結合をしている必要があるが、そのためには良好な積層構造を形成する必要がある。また、ピン層 P、フリー層 F の磁気特性は、積層構造における結晶格子定数を最適な値に調整することによって向上させることができる。このため、図 1 2 に例示したように非磁性層 N M も、例えば、第 1 の非磁性層 N M 1 と第 2 の非磁性層 N M 2 との積層構造とするとよい。例えば、非磁性層 N M を、A u 層／C u 層／A u 層のような積層構造とすると、大きな界面抵抗を実現しつつ良好な格子定数を実現し、良好な磁気特性を得ることが可能になる。

【 0 0 9 5 】

また、本発明における第 1 および第 2 の磁性層 P、F に含まれている強磁性体層 F M は、図 1 3 に例示したように、強磁性体層 F M 1 ／強磁性体層 F M 2 の積層構造により構成することもできる。この強磁性体層 F M 1 ／強磁性体層 F M 2 の積層構造においては、強磁性体層同士は強磁性磁気結合をしており、実質的に磁化はほぼ平行にそろった状態にあり、ほぼ同一の磁化方向を持っている。

【 0 0 9 6 】

このような積層構造膜をピン層 P、フリー層 F に採用すると、電子はより多数の強磁性体層／強磁性体層の界面を通過するようになる。C P P スピンバルブ膜においては、強磁性体層／強磁性体層の界面における電子散乱の効果、すなわち界面抵抗が大きなスピン依存性をもち、C P P - M R を増大させるという作用効果を有する。本具体例においては、より多くの界面抵抗を利用することができるため、より高抵抗で、より大きな抵抗変化率を得ることが可能となる。

【 0 0 9 7 】

電子反射層 R 1、R 2 の挿入は、特に C P P スピンバルブ膜の高抵抗化に効果があるが、ピン層 P、フリー層 F を積層化することは、特に M R 比の増大に効果がある。このため、この 2 つの組み合わせることにより、特に高抵抗で、高 M R 変化率の C P P スピンバルブ膜を得ることが可能となる。

【 0 0 9 8 】

本具体例においては、ピン層P、フリー層F中に多くの強磁性体層／強磁性体層の界面を配置することが可能となり、より多くの界面抵抗を利用することができ、高抵抗で高MR変化率のCPP-SVを構成することが可能となる。

【0099】

また、ピン層P、フリー層Fの磁化は一体として動作するため、磁化の制御はピン層Pの磁化固着と1つのフリー層Fの磁化制御のみによって可能になり、ヘッド等の読み取りセンサーに用いる場合にはバルクハウゼンノイズが抑制された磁気ヘッドを実現することが可能になる。

【0100】

本具体例における強磁性体層／強磁性体層の積層構造を構成している各強磁性体層は、例えばCo単体やCo系磁性合金のようなCoを含む強磁性体、あるいはNiFe合金のような強磁性体、あるいはFe基合金等により構成することができる。

【0101】

界面抵抗が特に大きい組み合わせとしては、NiFe合金／CoFe合金、Fe基合金／NiFe合金、もしくはFe基合金／CoFe合金を用いることが望ましい。

【0102】

また、強磁性体層／強磁性体層の積層構造に含まれる強磁性体層の膜厚は、全体のMstを増やすことなく界面数を増やす為には、できるだけ薄くすることが望ましい。磁性が保たれる組み合わせにおいては、強磁性体層は1原子層で構成することも可能である。また、膜厚の上限としては、界面数を増やす為には2nm以下であることが望ましい。

【0103】

一方、強磁性体層／強磁性体層の積層構造に含まれている強磁性体層の膜厚は、界面数をできるだけ多くする為には、1nm以下であることが望ましい。また、下限としては、単原子層でも界面抵抗を発生させることは可能である。

【0104】

強磁性体層／強磁性体層の積層構造を形成する材料の組み合わせとしては、界

面抵抗を良好に得るためには、非固溶系の組み合わせであることが望ましい。しかし、必ずしも非固溶系の組み合わせに限定する必要はなく、適宜組み合わせを決定することができる。

【 0 1 0 5 】

図 1 4 は、複数の強磁性体層を有する場合の他の具体例を表す概念図である。すなわち、同図の例においては、ピン層 P とフリー層 F のそれぞれが、第 1 の強磁性体層 FM 1 と第 2 の強磁性体層 FM 2 との積層構造を有し、さらに電子反射層 R 1、R 2 に隣接して第 3 の強磁性体層 FM 3 が設けられている。

【 0 1 0 6 】

例えば、フリー層 F においては、界面抵抗の大きな Fe / Co Fe 界面を用いることが望ましいが、Fe だけではフリー層として必要な軟磁気特性をえることが難しい。そのために、強磁性体層 FM 3 として強磁性結合した Ni Fe 等の軟磁気特性の優れている磁性材料を付加することにより軟磁気特性を向上させることが可能になる。

【 0 1 0 7 】

また、強磁性体層 / 強磁性体層の積層構造における強磁性体層に、Fe もしくは Fe 基合金が含まれる場合には、fcc 構造であることが望ましい。これは、Co Fe、Ni Fe 等の fcc 金属と積層をした場合により安定にできること、全体として結晶性の良好な積層構造を構成することが可能になり、軟磁気特性の向上、スピン揺らぎの減少等の効果があるためである。但し、bcc 構造を用いることもできる。

【 0 1 0 8 】

また、2 種類の強磁性体層の組み合わせとしては、fcc 構造の強磁性体と bcc 構造の強磁性体を組み合わせることもできる。図 1 1 に関して前述したように、この様な組み合わせにおいては fcc 強磁性体と bcc 強磁性体の電子状態、フェルミ面の形状、状態密度の分布等が大きく異なるため、顕著な伝導電子のフィルター効果を得ることが可能となり、大きな抵抗と MR 変化率を得ることが可能となる。

【 0 1 0 9 】

ところで、CPP-SVにおいては伝導電子がピン層Pとフリー層Fを通り抜けるときに、電子散乱を受けるが、ピン層Pもしくはフリー層Fを多層化した場合には、その多層周期にもとづくバンドポテンシャルの変調を受ける。このため、膜面に対して垂直方向に流れることができる電子の波数ベクトルは、バンドポテンシャルの変調に対応した制限を受けることになる。この制限を受ける波数は多層構造の周期により異なる。このため、ピン層Pとフリー層Fにおける多層周期を変えることにより、両方の層を通り抜けることができる波数を大きく制限することが可能になる。このフィルター効果自体もスピン依存効果を持つため、全体の電子の透過確率を低くしながらも、スピン依存性を高く保つことが可能となる。つまり、ピン層Pとフリー層Fの積層周期を故意に異なるものとするにより、さらに高抵抗にしつつ、高MR変化率が実現できるCPP-SVを実現することが可能になる。

【0110】

一方、非磁性中間層Sの材料としては、Cu（銅）、Au（金）、Ag（銀）のような伝導電子の平均自由行程の長い物質を用いることが望ましい。このような物質を用いることにより、電子は、第1の強磁性層Pと第2の強磁性層Fとの間をバリスティックに伝導することが可能となり、より効果的に強磁性体に起因する電子のスピン依存散乱効果を利用することができる。これにより大きなMR変化率を得ることが可能となる。また、非磁性中間層Sを、上述の3種類の元素の合金によって構成することも可能である。この場合は、積層構造における結晶格子定数を最適な値に調整することが可能な様に組成を調整することが望ましい。

【0111】

また、非磁性中間層Sとしては、図15に断面構造を表したように、Cu、Au、Ag等の材料を積層した非磁性層S1／非磁性層S2の積層構造で構成することも可能である。このとき、非磁性層S1／非磁性層S2の積層構造の積層周期と、ピン層P、もしくはフリー層Fの積層周期とを適当に設定することにより、CPP-SV全体を膜面に対して垂直方向に流れることができる電子の波数ベクトルを制限し、より高抵抗で高MR変化率が実現できるCPP-SVを実現す

ることが可能となる。

【0 1 1 2】

一方、反強磁性体層 A の材料としては、磁化固着特性に優れた金属反強磁性体を用いることが望ましい。具体的には、PtMn, NiMn, FeMn, IrMn 等の反強磁性体を用いることができる。これらの層の膜厚は、電気的特性からできるだけ薄くすることが望ましい。但し、余り薄くすると磁化固着特性が劣化してしまうため、ブロッキング温度が減少しない程度の膜厚を選択する必要がある。このため膜厚は 5 nm 以上とすることが望ましい。

【0 1 1 3】

また、以上の構成に加えて、図 1 6 に例示したように、いわゆるシンセティック反強磁性構造を採用することができる。これは、第 1 の磁性層 P、第 2 の磁性層 F のいずれか一方、または両方において、反強磁性結合層 AC を介して互いに反強磁性結合をしている一対の強磁性体層 FM 1、FM 2 を付加したものである。このようなシンセティック構成を採用することにより、ピン層 P においては、見掛け上の磁化をゼロとすることが可能となり、ピン層 P の磁化固着をより安定なものとするのが可能となる。また、フリー層 F においては、見掛け上の磁化を小さくすることにより、より高感度な外部磁界応答性を得ることが可能となる。

【0 1 1 4】

さらに、以上の構成に加えて、ピン層 P を 2 層とした、いわゆるデュアル構成を採用することも可能である。

【0 1 1 5】

一方、以上の具体例においては、電極 EL とスピバルブ膜との間には特別な層を配置しなかったが、実際の素子を形成する場合は、図 1 7 に例示したように、下部電極 EL 1 と反強磁性層 A との間には、平滑性を向上させ、また結晶性を向上させるために下地層（バッファ層）B を形成することが望ましい。また、上部電極 EL 2 とフリー層 F との間には、保護層となるべき層 C を配置することが望ましい。これら下地層 B、保護層 C としては、Ta（タンタル）、Ti（チタン）、Cr（クロム）等の濡れ性の良い材料、Cu、Au、Ag 等の電気抵抗が

小さく f c c 構造が安定な材料、またはそれらの積層構造等を用いることが望ましい。

【0 1 1 6】

(第 2 の実施の形態)

次に、本発明の第 2 の実施の形態について説明する。

図 1 8 は、本発明の第 1 の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構造を表す概念図である。同図については、図 1 乃至図 1 7 に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0 1 1 7】

本実施形態の磁気抵抗効果素子も、所定の基板の上に、反強磁性層 A、第 1 の磁性層 P、中間非磁性層 S、第 2 の磁性層 F の順に積層され、センス電流 I は、膜面に対して垂直方向に流される。

【0 1 1 8】

そして、本実施形態においては、非磁性中間層 S の中に電子反射層 R が挿入されている。

【0 1 1 9】

本実施形態においては、電流 I は上部電極 E L 2 から下部電極 E L 1 に向かって流れるが、その一部は電子反射層 R によって反射される。これによって電子が C P P スピンバルブ構造を無反射で通過してゆく確率は減少するため全体として大きく電気抵抗を増大させることが可能となる。

【0 1 2 0】

本実施形態においては、電子の透過確率が減少するため全体として、大きく電気抵抗を増大させることが可能となるが、スピン依存散乱効果自体は損なわれない為、MR 変化率は大きな値に保っておくことが可能となる。

【0 1 2 1】

以上の効果により、スピンバルブ構成でありながら、界面抵抗を良好に利用し、適度な抵抗値を持った C P P スピンバルブ素子を提供することが可能となる。

【0 1 2 2】

また本実施形態においても、ピン層 P、フリー層 F の磁化は一体として動作す

るため、磁化の制御はピン層 P の磁化固着と 1 つのフリー層 F の磁化制御のみによって可能になり、ヘッド等の読み取りセンサーに用いる場合にはバルクハウゼンノイズが抑制された磁気ヘッドを実現することが可能になる。

【 0 1 2 3 】

また、本実施形態においても、ピン層 P、フリー層 F の合計の厚さは薄くしたまま、良好な抵抗値、MR 変化率を得ることが可能となる。すなわち、本構成においては、従来の単純な CPP スピンバルブ構成と比較すると、電子の単純透過確率を減少させ、抵抗値を増大させるとともに、界面抵抗を十分に利用することが可能となるため、ピン層 P、フリー層 F の合計の Mst が小さい領域で、十分な抵抗値と MR 変化率を得ることが可能となる。具体的には、従来構成ではピン層 P、フリー層 F の磁性体の厚さとしては 20 nm 程度必要であったものが、本構成にすることにより、合計の磁性層厚が 5 nm 以下でも十分な特性を得ることが可能になる。これによって、フリー層 F の Mst を小さな値に保つことが可能となり、高感度なスピンバルブ素子を構成することができる。

【 0 1 2 4 】

また、ピン層 P の Mst も小さくすることが可能となるため、反強磁性層 A による磁化固着特性を向上させることができ、デバイスとしての信頼性を向上させることが可能となる。

【 0 1 2 5 】

本実施形態における電子反射層 R の材料としても、第 1 実施形態に関して前述したものと同様に、Bi、Sb、C 等の半金属や、ZnSe 等のいわゆるゼロギャップ半導体を用いることができる。これらの材料においては、絶縁体とは異なり伝導電子は存在しているが、その密度が非常に小さいため、伝導電子が感じるポテンシャルは非常に小さくなっている。具体的には、前述したように、Cu 等の金属が 7 eV 程度のフェルミポテンシャルを持っているのに対して、半金属においては 1 eV 以下の小さな値となっている。

【 0 1 2 6 】

このため、金属層中に半金属や、ゼロギャップ半導体を挟むと、大きなポテンシャルの段差が生じ、伝導電子は反射されるようになる。本構成においては、電

子反射層中にも伝導電子が存在するため、トンネルによる電子の透過確率よりも、伝導電子による伝導の方が十分に大きくなっており、通常の伝導が全体の抵抗値を支配している。このため、強磁性トンネル接合の場合に比べると低抵抗化が可能であり、微小接合において良好な素子抵抗を得ることが可能となる。

【 0 1 2 7 】

これらの材料におけるフェルミポテンシャルの値は、 $1\text{ eV} \sim 0\text{ eV}$ の範囲にはいっていることが望ましい。より望ましくは、 $0.5\text{ eV} \sim 0\text{ eV}$ の範囲が適している。この理由についても、第1実施形態に関して前述した通りである。

【 0 1 2 8 】

また、本実施形態における電子反射層Rの材料としては、AuまたはAgもしくはそれらの合金を用いることもできる。ただし、この場合には、あまり大きなポテンシャルの段差を形成することが難しいため、大きな抵抗増大を得ることは難しい。

【 0 1 2 9 】

また、本実施形態における電子反射層Rの材料としては、ポテンシャルバリア高さの低い絶縁体を用いることもできる。この場合は電子の透過確率はトンネル確率によって決定されるため、バリアが高くなると素子抵抗が高くなり過ぎる。この観点から、バリア高さは 0.1 eV 以下であることが望ましい。

【 0 1 3 0 】

また、本実施形態における電子反射層Rとして、図4乃至図6に関して前述したようなピンホールが形成された絶縁体を用いることができる。この場合には電子の透過確率は、ピンホールのサイズや密度などによって決定される。ここでピンホールサイズは、電子の平均自由行程と同程度以下にすることにより、より大きな抵抗増大効果を得ることが可能となる。また、ピンホール密度については、素子面積中に少なくとも10個程度のピンホールが形成されていることが、素子特性の再現性の点からは望ましい。しかし、逆に素子中にただ一つのピンホールが存在するようにすることもできる。またピンホールのトータル面積と素子面積との比率は、望ましくは50%以下であることが素子抵抗を上昇させるためには理想的である。

【 0 1 3 1 】

この場合には、電子の透過確率はピンホールを通した電気伝導によって決定されるため、電子反射層 R を構成する絶縁体としては、バリア高さの大きいもの、例えば、A l 酸化物や S i 酸化物などを用いることができる。ただし、C o 酸化物、N i 酸化物、C u 酸化物などのバリアハイトの低い材料を用いることもできる。そのような場合でも電気伝導はピンホールによって支配される。

【 0 1 3 2 】

また、本実施形態における絶縁体層の厚さは、ピンホールを形成しやすくするためには 0 . 5 n m ~ 1 0 n m の範囲に設定することが望ましい。

【 0 1 3 3 】

この様なピンホールを持った絶縁体層の形成方法についても、第 1 実施形態に関して前述した各種の方法を用いることができる。すなわち、A l の極薄層を、スパッタ等の方法によって形成したあと、酸素雰囲気中に短時間さらし、自然酸化により形成することができる。また、そのほかにも、酸素プラズマにさらす、酸素イオンを照射する、酸素ラジカルを照射する、等のエネルギーを付与する方法でも形成できる。また、被酸化層として、例えば A l - A u のような比較的酸化しやすい材料と、酸化しづらい材料とを同時成膜することにより A l - A u のグラニュー膜を形成しておき、それを酸素にさらすことにより、A l のみを選択的に酸化することによっても形成できる。さらに、これら以外にも、酸素雰囲気中で成膜することによりピンホールを持った酸化層を形成することもできる。

【 0 1 3 4 】

また、この様なピンホールを持った絶縁体層の別の形成方法としては、たとえば、A F M 等を用いた微細加工、また自己組織化により規則的に配列したピンホールを形成することもできる。これらの詳細も第 1 実施形態に関して前述した通りである。

【 0 1 3 5 】

一方、本実施形態における電子反射層 R も、必ずしも 1 層だけで構成されている必要はなく、2 層以上の積層構成を有していてもよい。また、電子反射層 R は、非磁性中間層 S の中に 1 層のみでなく、複数層が設けられていてもよい。この

ように複数の電子反射層 R を非磁性中間層 S に挿入することにより、より電子の単純透過確率を減少させることが可能となり、さらに高抵抗な CPP-SV を構成することが可能となる。

【 0 1 3 6 】

さらに、本実施形態の構成は、本発明の第 1 実施形態として前述した各種の構成と組み合わせることもできる。これにより、さらに高抵抗の CPP スピンバルブ膜を構成することができる。

【 0 1 3 7 】

第 2 実施形態と第 1 実施形態との組み合わせにおいて、ピンホール H の位置を制御して形成する場合には、それぞれの電子反射層 R、R 1、R 2 におけるピンホール H の位置の関係が重要になる。つまり、ピンホール H の位置は 図 1 9 に例示したように、それぞれの電子反射層の間で同じ場所になるようにすることもできる、一方、図 2 0 に例示したようにそれぞれの電子反射層の間でピンホール H の位置がずれているように設けることもできる。

【 0 1 3 8 】

図 1 9 に表したようにピンホール H の位置がずれていた方が、電子をより効果的に反射することができるため、さらに高抵抗な CPP スピンバルブ素子を形成することができる。

【 0 1 3 9 】

また、このようにピンホール H の位置を制御して形成する場合には、それぞれの電子反射層 R、R 1、R 2 におけるピンホール H の大きさの関係も重要である。この場合には、ピンホール H の大きさを全ての電子反射層で同じにしてもよいが、電子反射層毎にピンホール H の大きさが異なるようにすることもできる。すなわち、電子反射層 R、R 1、R 2 のうちで、電子の流れに対して上流側に設けられるもののピンホール H を大きめに形成すると、電子を効果的に反射することができ、より高抵抗な CPP スピンバルブ素子を形成することができる。

【 0 1 4 0 】

また、本発明の第 2 実施形態における第 1 および第 2 の磁性層 P、F も、第 1 実施形態に関して前述したものと同様に、強磁性体層、強磁性体層／非磁性体層

の積層構造、強磁性体層／強磁性体層の積層構造などの構成を有するものとすることができる。

【0141】

一方、本発明の第2実施形態における非磁性中間層Sも、本発明の第1実施形態に関して前述したものと同様の積層構成を有するものとすることができる。

【0142】

また、本発明の第2実施形態における反強磁性層Aについても、第1実施形態と同様に、磁化固着特性に優れた金属反強磁性体を用いることが望ましい。具体的には、PtMn、NiMn、FeMn、IrMn等の反強磁性体を用いることができる。これらの層の膜厚は電気的特性からはできるだけ薄くすることが望ましい。但し余り薄くすると磁化固着特性が劣化してしまうため、ブロッキング温度が減少しない程度の膜厚を選択する必要がある。このため膜厚は5nm以上とすることが望ましい。

【0143】

また、以上の構成に加えて、第1の磁性層P、第2の磁性層Fのいずれか一方、または両方において、いわゆるシンセティック反強磁性層構造を採用しても良い。さらに、以上の構成に加えて、ピン層Pを2層としたいわゆるデュアル構成としてもよい。これらの点についても、第1実施形態に関して図16を参照しつつ前述した通りである。

【0144】

さらに、本実施形態においても、下地層（バッファ層）や保護層を設けることが望ましい。この点については、第1実施形態に関して図17を参照しつつ詳述した通りである。

【0145】

次に、本発明の実施の形態について、実施例を参照しつつさらに詳細に説明する。

【0146】

（第1の実施例）

まず、本発明の第1の実施例について説明する。

図 2 1 は、本発明の第 1 の実施例にかかる磁気抵抗効果素子の要部断面構成を表す概念図である。この磁気抵抗効果素子の形成に際しては、まず、図示しない熱酸化シリコン (S i) 基板上にスパッタ法によって C u 下電極 E L 1 を層厚 5 0 0 n m 積層し、フォトリソグラフィーにより幅 9 μ m のストライプ状に形成した。その後、その上に 3 μ m 角の C P P - S V を成膜した。その膜構成は、以下に表す材料と膜厚の通りである。

T a 5 n m (バッファ層 B) / N i F e 2 n m (バッファ層 B) /
 P t M n 1 5 n m (反強磁性層 A) / C o F e 1 n m (ピン層 P 1) /
 A l O x (電子反射層 R 1) / C o F e 5 n m (ピン層 P 2) /
 C u 3 n m (非磁性中間層 S) / C o F e 5 n m (フリー層 F) /
 C u 2 n m (非磁性体層 N M 1) / A l O x (電子反射層 R 2) /
 C u 2 n m (非磁性体層 N M 2) / T a 5 n m (保護層 C)

【 0 1 4 7 】

ここで、電子反射層となる A l O x は、A l (アルミニウム) を成膜した後、酸素雰囲気中にさらし、A l を自己酸化することにより形成した。本実施例においては、A l を 1 n m 成膜し、酸素に 1 k ラングミュアーだけさらすことにより、図示しないピンホールの開いた A l O x を形成した。すなわち、本実施例においては、ピンホールが設けられた A l O x 層が電子反射層 R 1、R 2 として機能する。

【 0 1 4 8 】

上記スピバルブ構成の上にさらに絶縁用 A l O x 膜 Z を形成し、0. 1 μ m 角の穴を形成した。その上に C u (銅) を約 5 0 0 n m の層厚にスパッタ法によって積層して上部電極 E L 2 を形成した。本実施例では、上記構成により絶縁用 A l O x 膜 Z の 0. 1 μ 角の穴を通して C P P - S V 特性を測定することが可能となった。

【 0 1 4 9 】

室温における測定の結果、素子抵抗は 7 Ω であり、抵抗変化率は 1 0 % の値を

得ることができた。これにより、 $0.7\ \Omega$ の抵抗変化量を得ることができた。また、ピン層Pは良好に磁化固着され、ピン層Pを構成する積層構造の磁化は一体として動いていることが確認できた。また、フリー層Fの H_c も小さく、磁化は外部磁場に対して一体として動いていることが確認できた。

【0150】

(比較例1)

まず、熱酸化シリコン(Si)基板上にスパッタ法によってCu下電極を500nm積層し、フォトリソグラフィーにより幅9 μ mのストライプ状に形成した。その後、その上に3 μ m角のCPP-SVを成膜した。その膜構成は、以下の通りである。

Ta 5 nm (バッファ層) / NiFe 2 nm (バッファ層) /
PtMn 15 nm (反強磁性層) / CoFe 5 nm (ピン層) /
Cu 3 nm (非磁性中間層) / CoFe 5 nm (フリー層) /
Cu 2 nm (非磁性体層) / Ta 5 nm (保護層)

【0151】

その上にさらに、図21と同様の AlO_x の絶縁膜を形成し、 AlO_x には0.1 μ m角の穴を形成した。その上にCuを500nmの層厚にスパッタ法によって積層して上部電極を形成した。室温での測定の結果、素子抵抗は3 Ω となり、抵抗変化率は3%の値しか得られなかった。つまり、本比較例では、 $0.09\ \Omega$ の抵抗変化量しか得られず、第1実施例の1/8程度の変化量にとどまった。

【0152】

(第2の実施例)

第1実施例と同様に、まず、熱酸化シリコン(Si)基板上にスパッタ法によってCu下電極を500nm積層し、フォトリソグラフィーにより幅9 μ mのストライプ状に形成した。その後、その上に3 μ m角のCPP-SVを成膜した。その膜構成は、以下の如くである。

Ta 5 nm (バッファ層B) / Ni Fe 2 nm (バッファ層B) /
 Pt Mn 15 nm (反強磁性層A) / Co Fe 1 nm (強磁性体層FM1) /
 AlO_x (電子反射層R1) / Co Fe 1 nm (強磁性体層FM2) /
 Cu 1 nm (非磁性体層NM1) / Co Fe 1 nm (強磁性体層FM3) / Cu
 1 nm (非磁性体層NM2) / Co Fe 1 nm (強磁性体層FM4) /
 Cu 3 nm (非磁性中間層S) / Co Fe 1 nm (強磁性体層FM5) /
 Cu 1 nm (非磁性体層NM3) / Co Fe 1 nm (強磁性体層FM6) /
 Cu 1 nm (非磁性体層NM4) / Co Fe 1 nm (強磁性体層FM7) /
 Cu 2 nm (非磁性体層NM5) / AlO_x (電子反射層R2) /
 Cu 2 nm (非磁性体層NM6) / Ta 5 nm (保護層C)

【0153】

上記積層構造において、強磁性体層FM1から強磁性層FM4までの積層は、
 ピン層Pを構成する。また、強磁性層FM5から強磁性層FM7あるいは非磁性
 層NM6までの積層は、フリー層Fを構成する。

【0154】

また、電子反射層R1、R2を構成するAlO_xは、第1実施例と同様の方法
 により、ピンホールの開いたAlO_x層として形成した。

【0155】

上記スピバルブ構成の上に、図21と同様に、絶縁用AlO_x膜を形成し、
 0.1 μm角の穴を形成した。その上にCuを500 nmの層厚にスパッタ法に
 よって積層して上部電極EL2を形成した。本実施例では上記構成により絶縁用
 AlO_x膜の0.1 μ角の穴を通してCPP-SV特性を測定することが可能と
 なった。

【0156】

室温における測定の結果、素子抵抗は9 Ωとなり、抵抗変化率として20 %の
 値を得ることができた。つまり、1.8 Ωの抵抗変化量を得ることができた。ま
 た、ピン層Pは良好に磁化固着され、ピン積層構造の磁化は一体として動いてい
 ることが確認できた。また、フリー層FのH_cも小さく、その磁化は外部磁場に

対して一体として動いていることが確認できた。

【0157】

(第3の実施例)

次に、本発明の第3の実施例として、本発明の磁気抵抗効果素子を用いた磁気ヘッドについて説明する。

図22は、本発明の磁気抵抗効果素子を用いた磁気ヘッドの要部構成を表す斜視概念図である。すなわち、本発明の磁気ヘッドは、記録媒体200に対向して配置された一对の磁気ヨーク102、102を有する。磁気ヨーク102、102の上には、これらと磁氣的に結合された磁気抵抗効果素子104が設けられている。磁気抵抗効果素子104は、図1乃至図21に関して前述したような本発明のCPPタイプの素子である。また、一对の磁気ヨーク102、102を跨ぐように、その両端には、一对のバイアス層106、106が形成されている。バイアス層106は、反強磁性体あるいは強磁性体からなり、磁気ヨーク102と磁気抵抗効果素子104のフリー層の磁化を、記録磁界と垂直方向、すなわち同図中のy方向に向けるように作用する。

【0158】

記録媒体200には、記録トラック200Tが形成され、記録ビット200Bが配列している。それぞれの記録ビット200Bには、矢印で例示したような信号磁化が形成され、これらの記録ビットからの信号磁束は、磁気ヨーク102と磁気抵抗効果素子104とを結んだ磁気回路に与えられる。磁気抵抗効果素子104に記録ビット200Bの磁場が与えられると、フリー層の磁化は、バイアス層106によるy方向から面内に回転する。すると、この磁化方向の変化が磁気抵抗の変化として検出される。

【0159】

磁気抵抗効果素子104の磁気検出領域を記録ビット200Bのサイズに合わせるために、磁気抵抗効果素子104の電極のコンタクトは、図22に表した記録トラックの幅Wに相当する領域に制限して形成されている。

【0160】

本発明によれば、磁気抵抗効果素子104として、図1乃至図21に関して前

述したような本発明のＣＰＰタイプの素子を用いることにより、適切な素子抵抗と大きな磁気抵抗の変化を両立することができる。つまり、従来よりも大幅に感度が高く且つ信頼性も安定した磁気ヘッドを実現することができる。

【 0 1 6 1 】

なお、本具体例においては、長手（面内）記録方式の磁気記録媒体に適応した磁気ヘッドを例に挙げたが、本発明はこれに限定されるものではなく、垂直記録媒体に適応した磁気ヘッドについても、本発明の磁気抵抗効果素子を同様に適用して同様の効果を得ることができる。

【 0 1 6 2 】

（第４の実施例）

次に、本発明の第４の実施例として、本発明の磁気抵抗効果素子を用いた磁気記録再生装置について説明する。図１乃至図２１に関して前述したような本発明の磁気抵抗効果素子は、図２２に例示したような磁気ヘッドに搭載され、例えば、記録再生一体型の磁気ヘッドアセンブリに組み込まれて磁気記録再生装置に应用することができる。

【 0 1 6 3 】

図２３は、このような磁気記録再生装置の概略構成を例示する要部斜視図である。すなわち、本発明の磁気記録再生装置１５０は、ロータリーアクチュエータを用いた形式の装置である。同図において、長手記録用または垂直記録用磁気ディスク２００は、スピンドル１５２に装着され、図示しない駆動装置制御部からの制御信号に応答する図示しないモータにより矢印Ａの方向に回転する。磁気ディスク２００は、磁気ディスク２００に格納する情報の記録再生を行うヘッドスライダ１５３は、薄膜状のサスペンション１５４の先端に取り付けられている。ここで、ヘッドスライダ１５３は、例えば、第６実施例において前述したような本発明の磁気抵抗効果素子を搭載した磁気ヘッドをその先端付近に有する。

【 0 1 6 4 】

磁気ディスク２００が回転すると、ヘッドスライダ１５３の媒体対向面（ＡＢＳ）は磁気ディスク２００の表面から所定の浮上量をもって保持される。

【 0 1 6 5 】

サスペンション 1 5 4 は、図示しない駆動コイルを保持するボビン部などを有するアクチュエータアーム 1 5 5 の一端に接続されている。アクチュエータアーム 1 5 5 の他端には、リニアモータの一種であるボイスコイルモータ 1 5 6 が設けられている。ボイスコイルモータ 1 5 6 は、アクチュエータアーム 1 5 5 のボビン部に巻き上げられた図示しない駆動コイルと、このコイルを挟み込むように対向して配置された永久磁石および対向ヨークからなる磁気回路とから構成される。

【 0 1 6 6 】

アクチュエータアーム 1 5 5 は、固定軸 1 5 7 の上下 2 箇所に設けられた図示しないボールベアリングによって保持され、ボイスコイルモータ 1 5 6 により回転撓動が自在にできるようになっている。

【 0 1 6 7 】

図 2 4 は、アクチュエータアーム 1 5 5 から先の磁気ヘッドアセンブリをディスク側から眺めた拡大斜視図である。すなわち、磁気ヘッドアッセンブリ 1 6 0 は、例えば駆動コイルを保持するボビン部などを有するアクチュエータアーム 1 5 1 を有し、アクチュエータアーム 1 5 5 の一端にはサスペンション 1 5 4 が接続されている。

【 0 1 6 8 】

サスペンション 1 5 4 の先端には、本発明の磁気抵抗効果素子を用いた再生用磁気ヘッドを具備するヘッドスライダ 1 5 3 が取り付けられている。記録用ヘッドを組み合わせても良い。サスペンション 1 5 4 は信号の書き込みおよび読み取り用のリード線 1 6 4 を有し、このリード線 1 6 4 とヘッドスライダ 1 5 3 に組み込まれた磁気ヘッドの各電極とが電氣的に接続されている。図中 1 6 5 は磁気ヘッドアッセンブリ 1 6 0 の電極パッドである。

【 0 1 6 9 】

ここで、ヘッドスライダ 1 5 3 の媒体対向面 (A B S) と磁気ディスク 2 0 0 の表面との間には、所定の浮上量が設定されている。

【 0 1 7 0 】

磁気ヘッド 1 0 を搭載したスライダ 1 5 3 は、磁気ディスク 2 0 0 の表面から

所定の距離だけ浮上した状態で動作する。本発明によれば、このような「浮上走行型」の磁気記録再生装置においても、従来よりも高分解能で低ノイズの再生を行うことができる。

【0171】

一方、磁気ヘッド10と磁気ディスク200とを積極的に接触させて、走行させる「接触走行型」の磁気記録再生装置においても、従来よりも高分解能で低ノイズの再生を行うことができることは勿論である。

【0172】

以上、具体例を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。

【0173】

例えば、スピナルブ素子としての構造及び各層の材料については、当業者が選択しうるすべての範囲について本発明を同様に適用して同様の効果を得ることが可能である。例えば、「デュアル型」のような構造についても本発明を同様に適用することができる。

【0174】

また、磁気ヘッドの構造、構成する各要素の材料や形状などに関しても、具体例として前述したものには限定されず、当業者が選択しうる範囲のすべてを同様に用いて同様の効果を奏し得る。

【0175】

また、磁気記録再生装置に関しても、再生のみを実施するものでも、記録・再生を実施するものであっても良く、また、媒体は、ハードディスクには限定されず、その他、フレキシブルディスクや磁気カードなどのあらゆる磁気記録媒体を用いることが可能である。さらに、磁気記録媒体を装置から取り外し可能した、いわゆる「リムーバブル」の形式の装置であっても良い。

【0176】

さらに、本発明による磁気抵抗効果素子は、トランジスタ／ダイオード等と組み合わせ、あるいは単独で、磁気情報を記憶する「磁気メモリセル」を構成することができる。つまり、本発明は、磁気メモリセルを集積化した「磁気メモリ

装置 (M R A M) 」にも適用可能である。

【 0 1 7 7 】

【発明の効果】

以上詳述したように、本発明によれば、適当な抵抗値と、大きなMR変化量を有し、且つ磁氣的に高感度となるようなC P P型の磁気抵抗効果素子を提供することができる。

【 0 1 7 8 】

その結果として、従来よりも微小な記録ビットからの磁気的情報を確実に読みとることが可能となり、記録媒体の記録密度を大幅に向上させることが可能となる。同時に、熱的にも安定するために、磁気記録再生システムの信頼性が向上し、利用範囲が拡がり、産業上のメリットは多大である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構造を表す概念図である。

【図 2】

(a) は、ピン層 P とフリー層 F の磁化が平行の場合、(b) は、反平行の場合について、それぞれ電子が感じるポテンシャルをアップスピンの場合とダウンスピンの場合について図示したグラフである。

【図 3】

(a) は、ピン層とフリー層の磁化が平行の場合、(b) は、反平行の場合について、それぞれ電子が感じるポテンシャルをアップスピンの場合とダウンスピンの場合について図示したグラフである。

【図 4】

本発明の磁気抵抗効果素子の本具体例の断面構成を表す概念図である。

【図 5】

(a) は、上下の電子反射層 R 1、R 2 の間で、ピンホール H の位置を同じにした構成、(b) は、上下の電子反射層 R 1、R 2 の間でピンホール H の位置がずれているように設けた構成を表す。

【図 6】

2 層以上の電子反射層 R 1 A、R 1 B あるいは R 2 A、R 2 B を含んだ構成を表す概念図である。

【図 7】

電子反射層 R 2 を強磁性体層 FM の内部に挿入せずに、非磁性層 NM 1、NM 2 により挟持して配置した構成を表す概念図である。

【図 8】

強磁性体層 FM と非磁性体層 NM との積層構造を採用した構成を表す概念図である。

【図 9】

2 種以上の強磁性体の積層膜を採用した構成を表す概念図である。

【図 1 0】

電子反射層を挟む強磁性体層が 2 種以上の強磁性体層により構成されている場合を例示する概念図である。

【図 1 1】

f c c 構造の強磁性体層 FM (f c c) と b c c 構造の強磁性体層 FM (b c c) とを組み合わせた構成を表す概念図である。

【図 1 2】

非磁性層 NM を、第 1 の非磁性層 NM 1 と第 2 の非磁性層 NM 2 との積層構造とした構成を表す概念図である。

【図 1 3】

強磁性体層 FM 1 / 強磁性体層 FM 2 の積層構造を採用した構成を表す概念図である。

【図 1 4】

複数の強磁性体層を有する場合の他の具体例を表す概念図である。

【図 1 5】

複数の強磁性体層を有する場合の他の具体例を表す概念図である。

【図 1 6】

いわゆるシンセティック反強磁性構造を採用した構成を表す概念図である。

【図 1 7】

下地層（バッファ層）B や保護層 C を採用した構成を表す概念図である。

【図 1 8】

本発明の第 1 の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の断面構成を表す概念図である

【図 1 9】

それぞれの電子反射層の間でピンホールが同じ場所になるようにした構成を表す概念図である。

【図 2 0】

それぞれの電子反射層の間でピンホール H の位置がずれているように設けられた構成を表す概念図である。

【図 2 1】

本発明の第 1 の実施例にかかる磁気抵抗効果素子の要部断面構成を表す概念図である。

【図 2 2】

本発明の磁気抵抗効果素子を用いた磁気ヘッドの要部構成を表す斜視概念図である。

【図 2 3】

磁気記録再生装置の概略構成を例示する要部斜視図である。

【図 2 4】

アクチュエータアーム 1 5 5 から先の磁気ヘッドアセンブリをディスク側から眺めた拡大斜視図である。

【図 2 5】

スピバルブ膜の概略断面構成を例示する概念図である。

【図 2 6】

一般的に用いられている電流供給方式を表す概念図である。

【図 2 7】

スピバルブ膜の断面構成を表す概念図である

【図 2 8】

C P P - 人工格子形の素子の断面構造を表す概念図である。

【図 2 9】

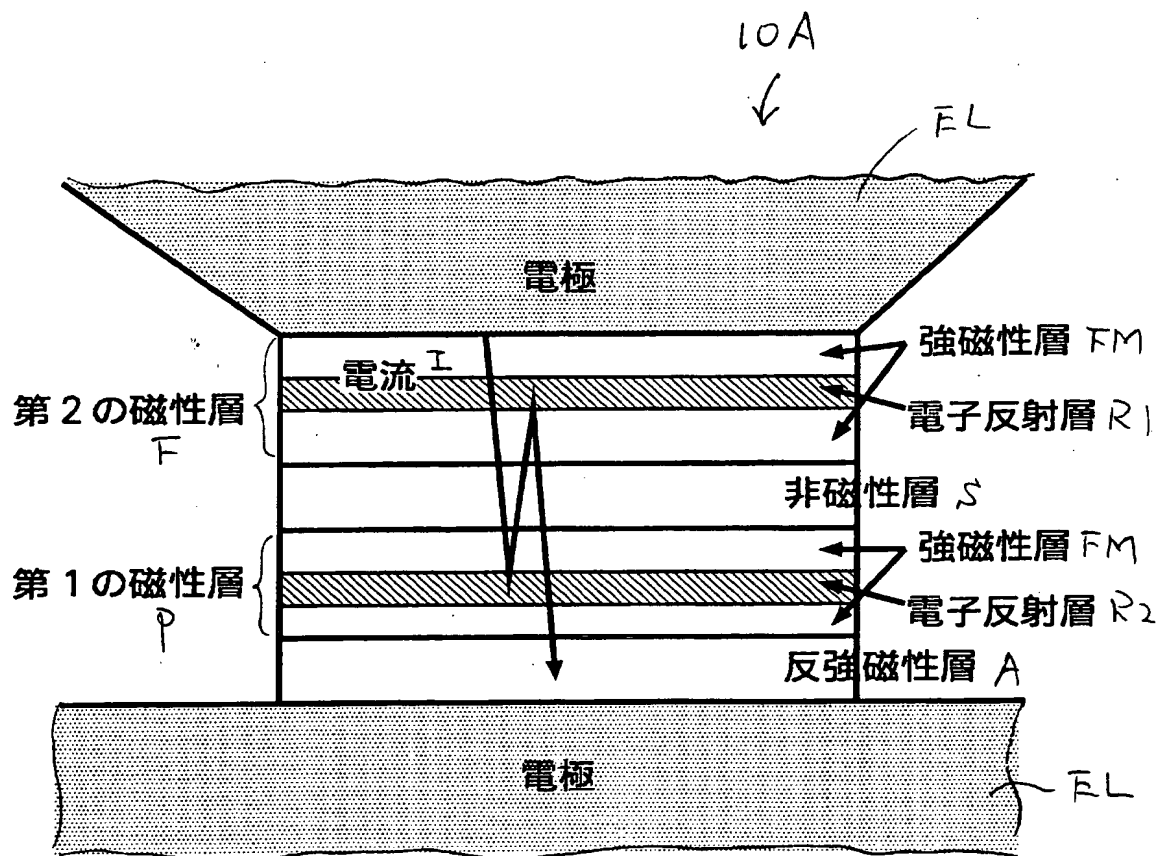
C P P - S V 素子の断面構成を表す概念図である。

【符号の説明】

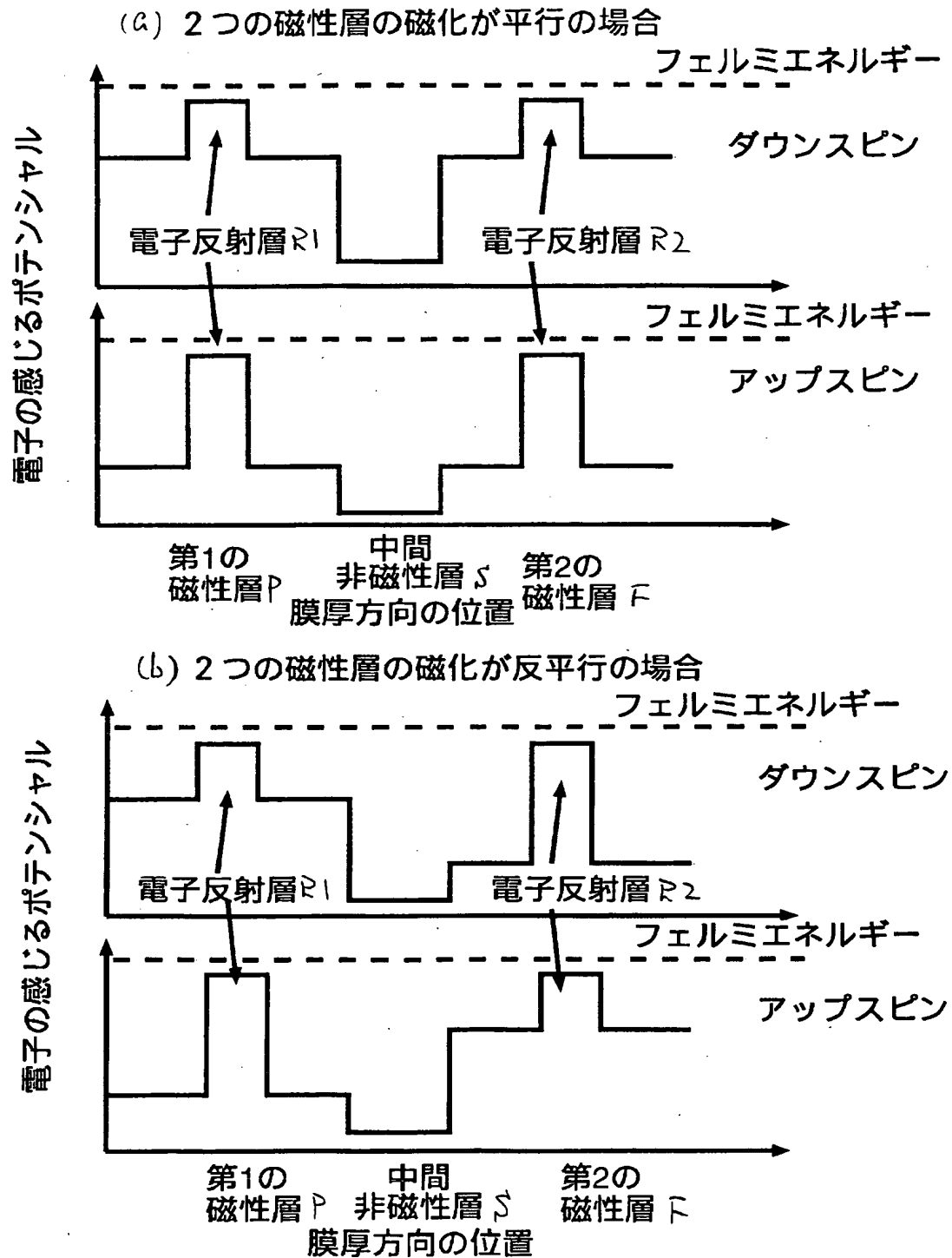
- A 反強磁性層
- P 磁化固着層 (ピン層)
- R、R 1、R 2 電子反射層
- FM 強磁性体層
- NM 非磁性体層
- S 非磁性中間層
- F 磁化自由層 (フリー層)
- E L 電極
- I センス電流
- B バッファ層
- C 保護層
- 1 5 0 磁気記録装置
- 1 5 1 磁気ディスク
- 1 5 3 ヘッドスライダ
- 1 5 4 サスペンション
- 1 5 5 アクチュエータアーム
- 1 5 6 ボイスコイルモータ
- 1 5 7 固定軸

【書類名】 図面

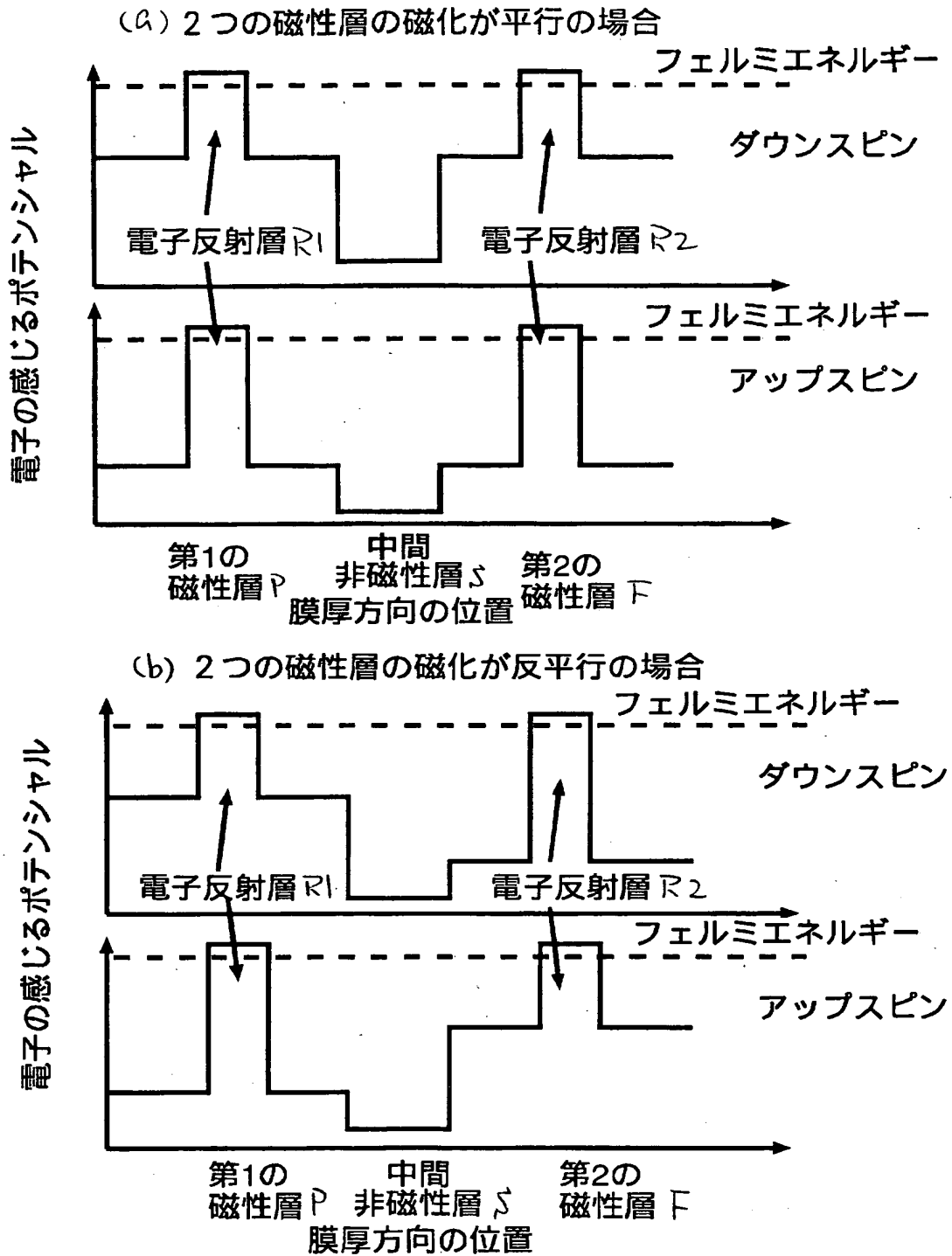
【図1】



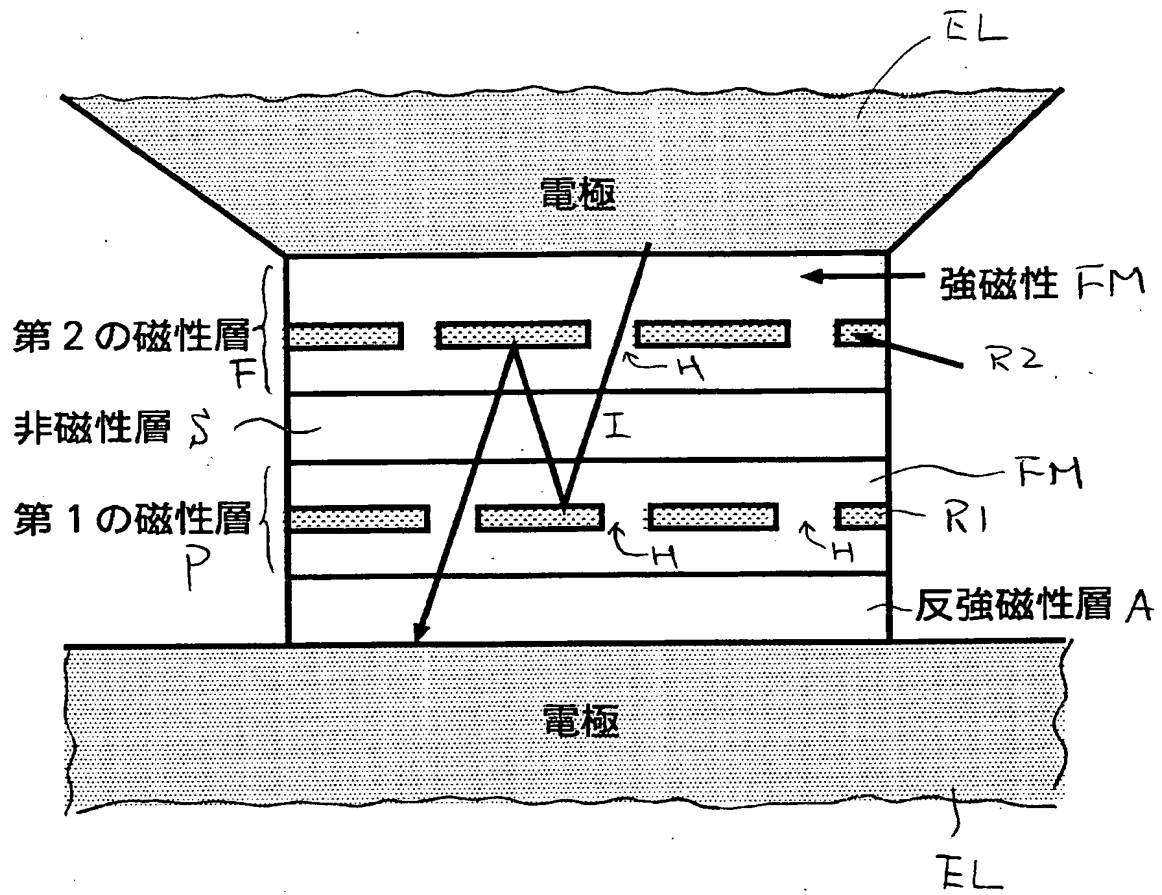
【図 2】



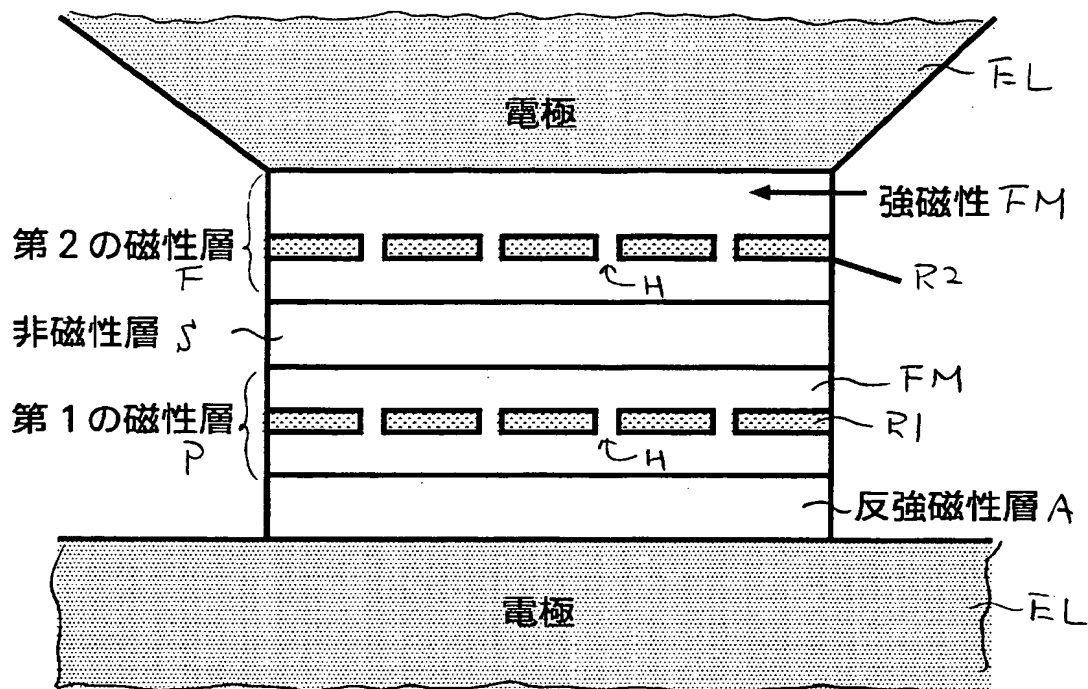
【図 3】



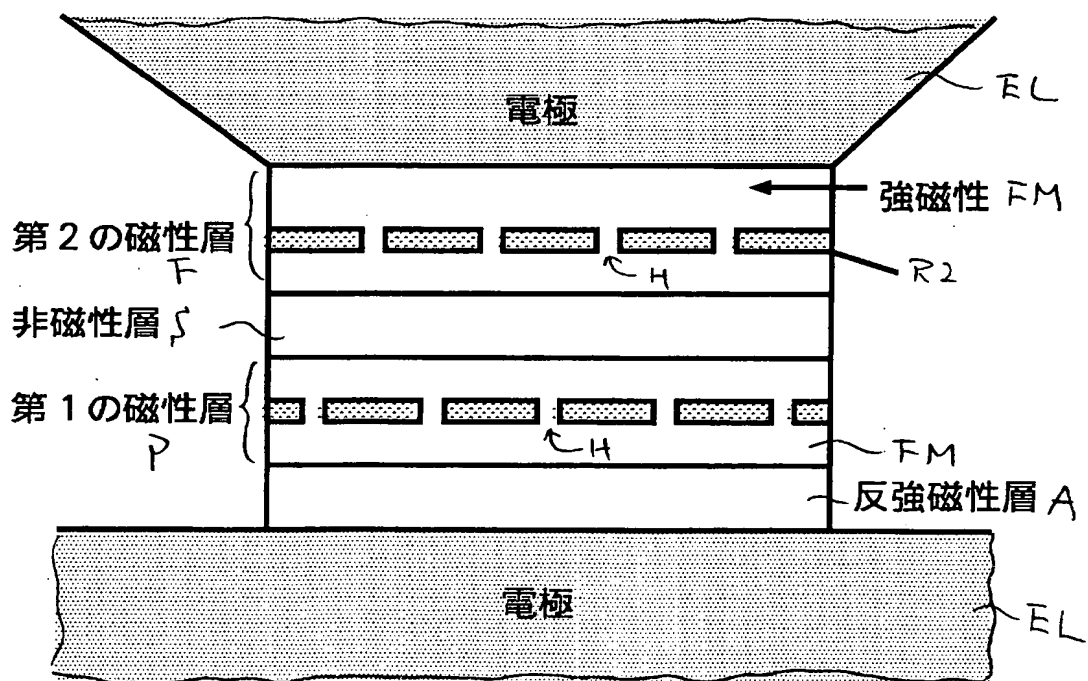
【図4】



【図 5】

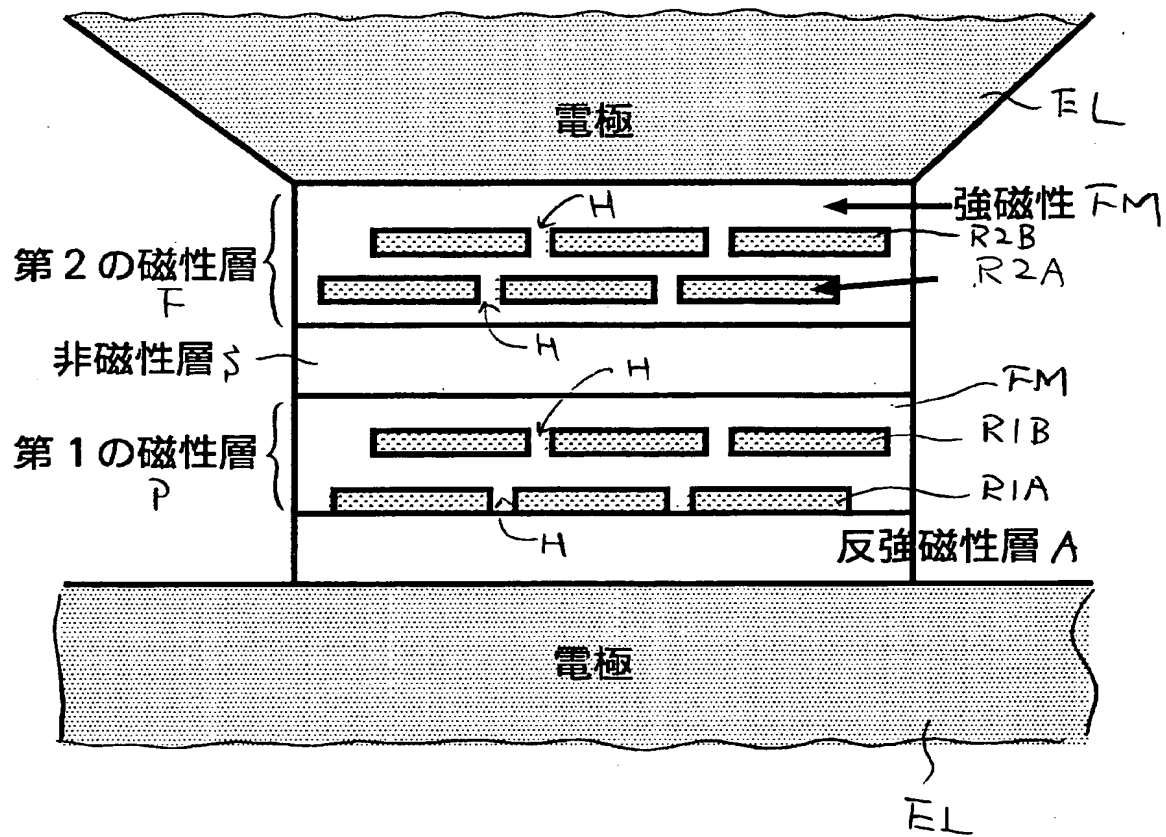


(a)

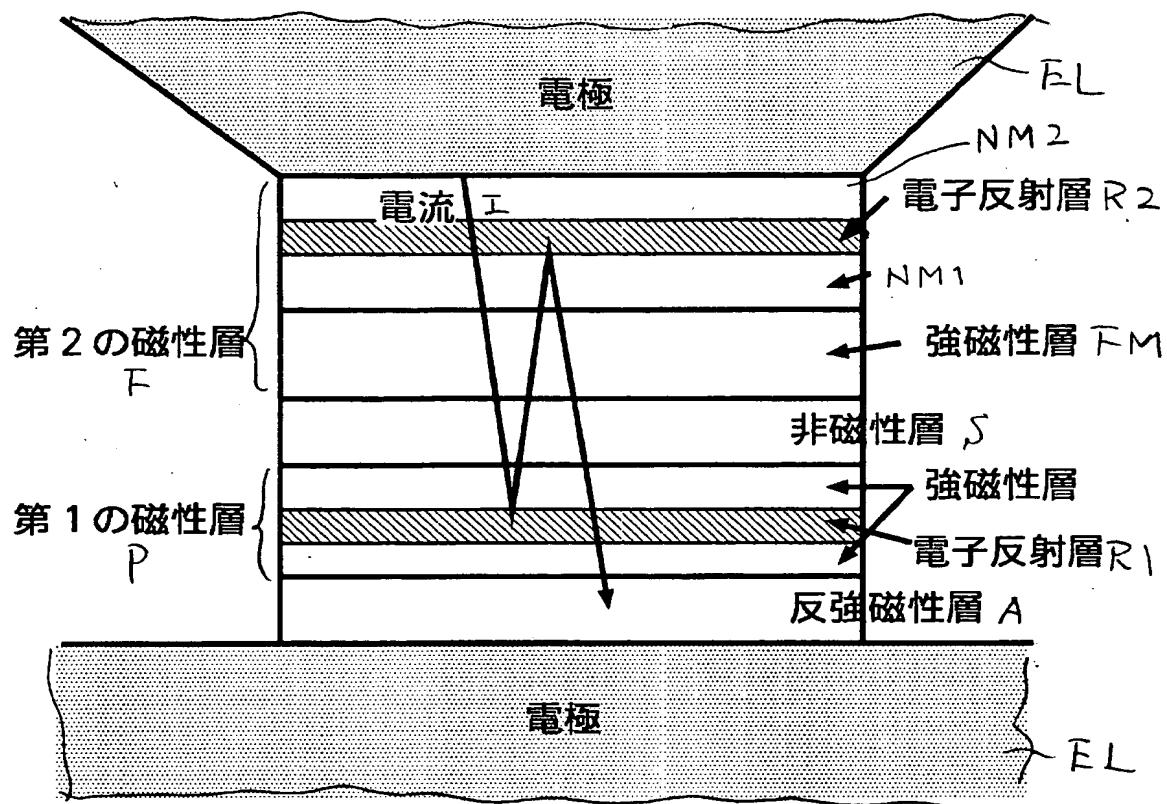


(b)

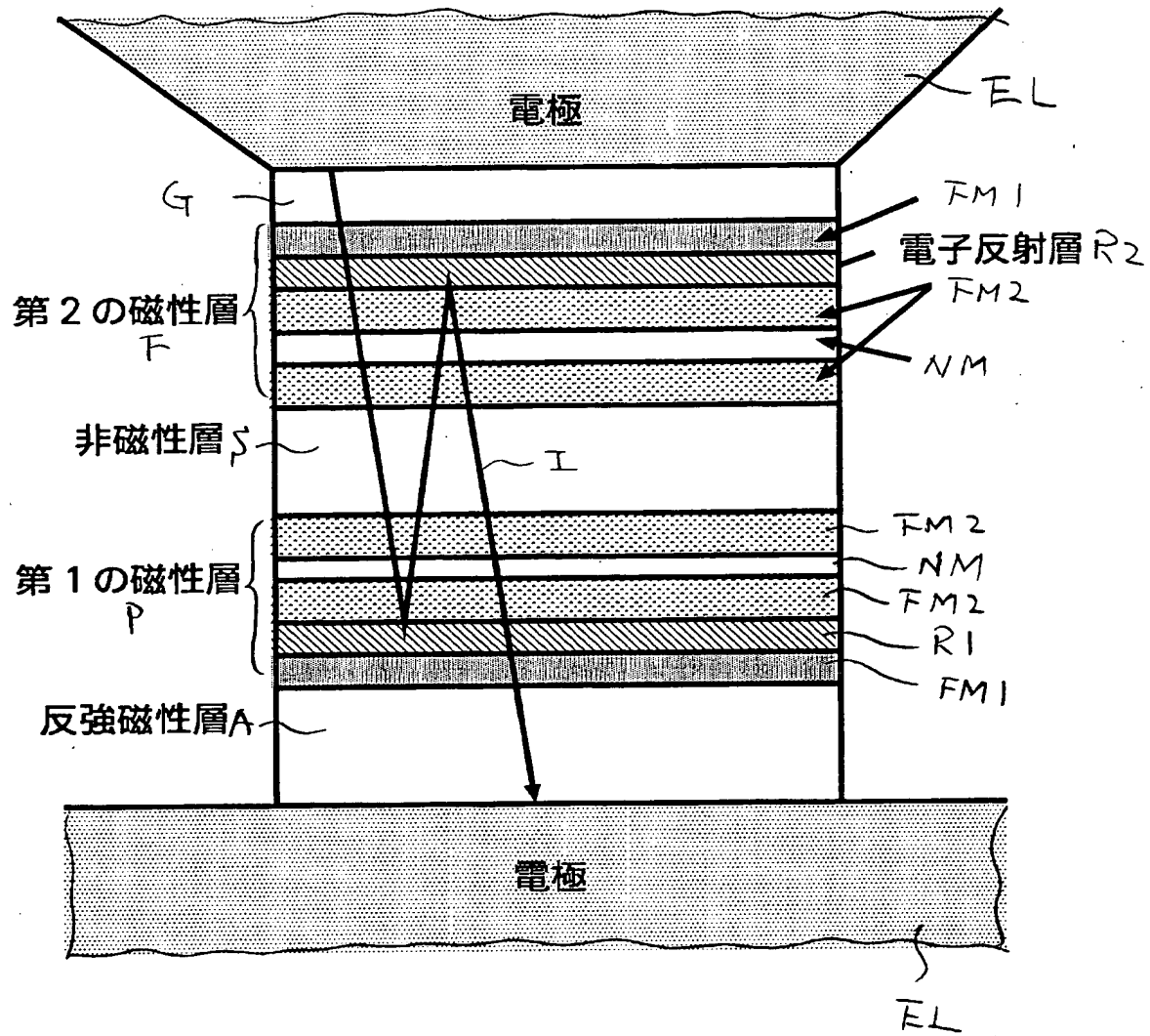
【図6】



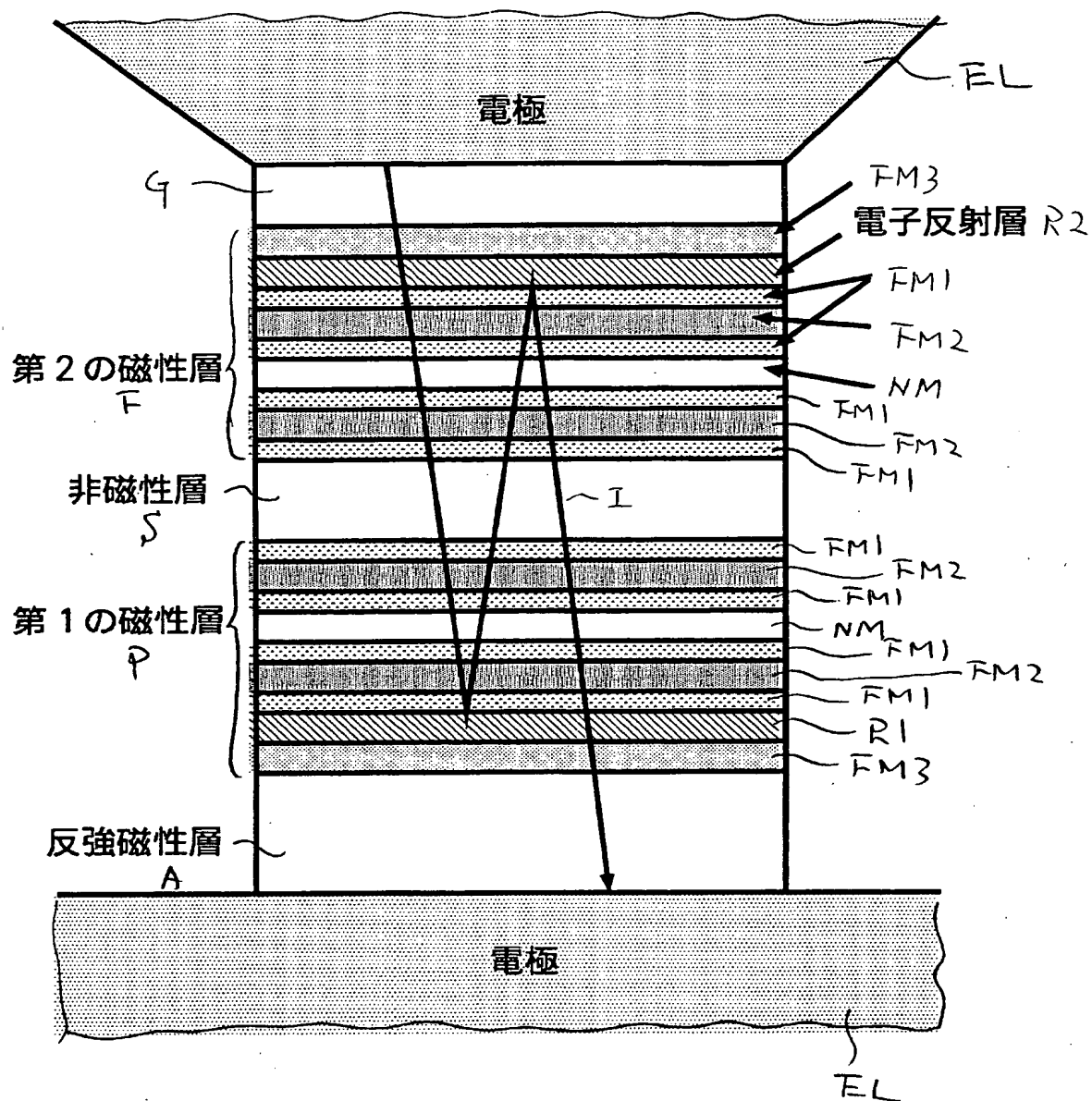
【図 7】



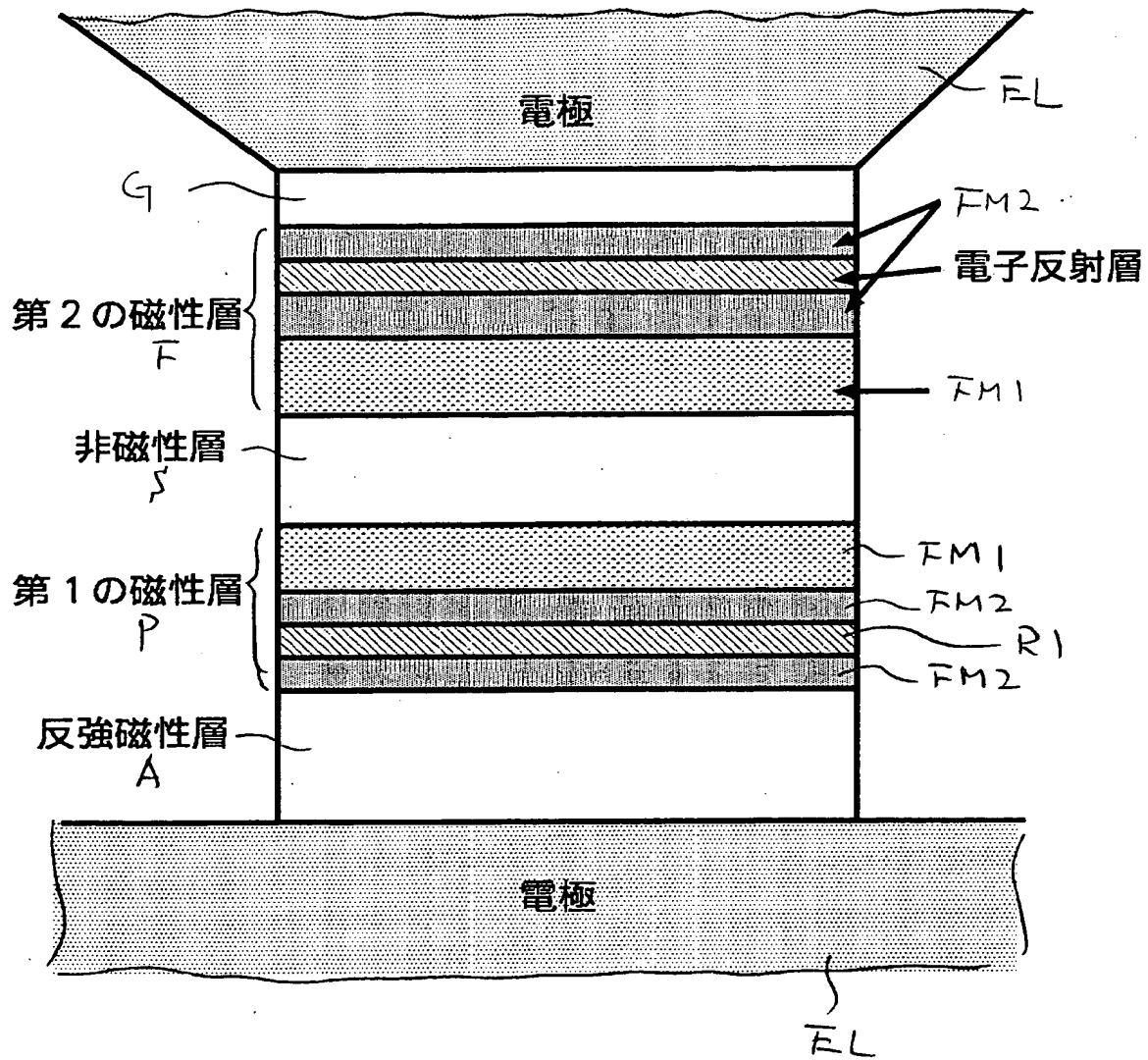
【図8】



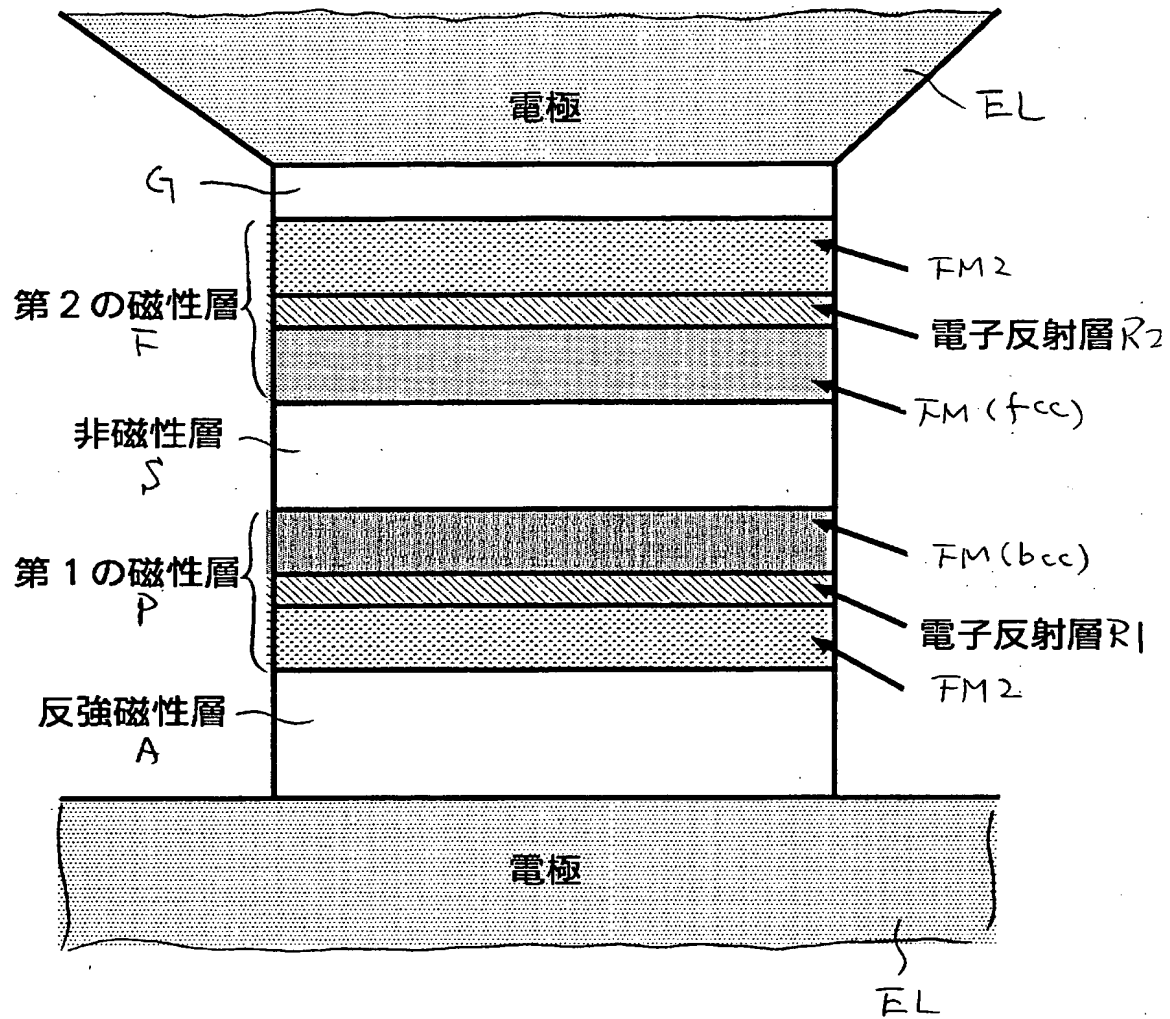
【図 9】



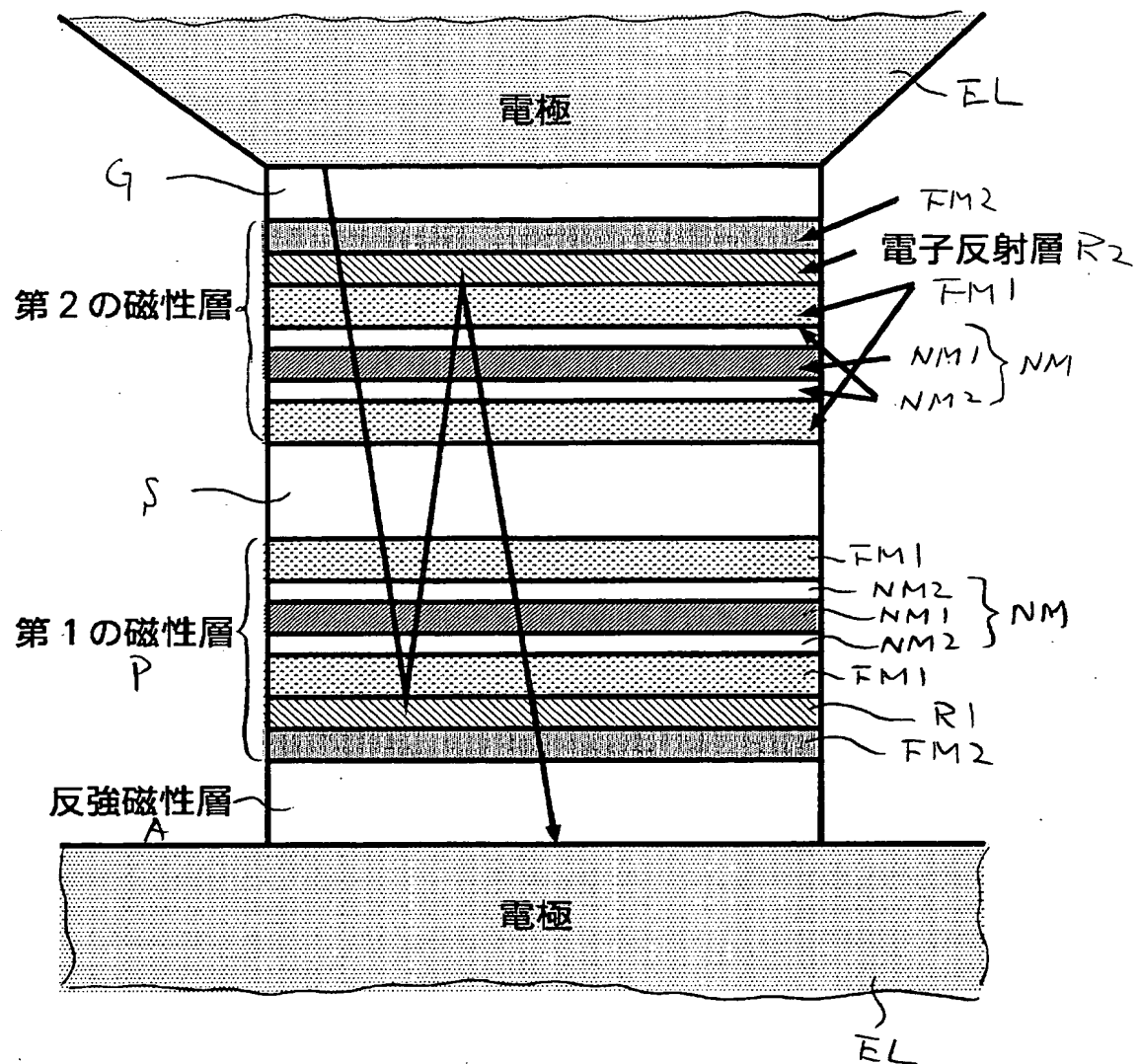
【図10】



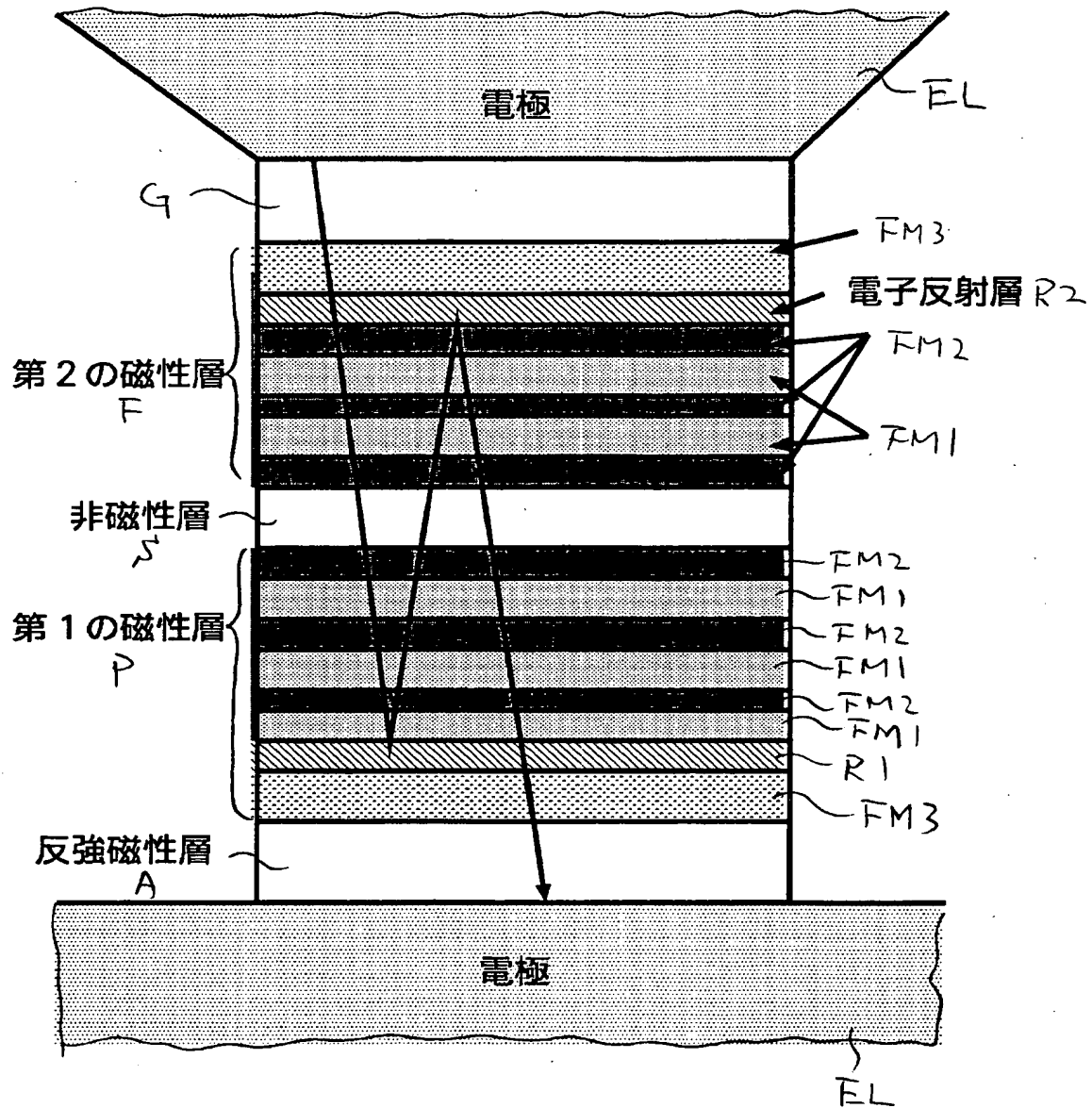
【図 11】



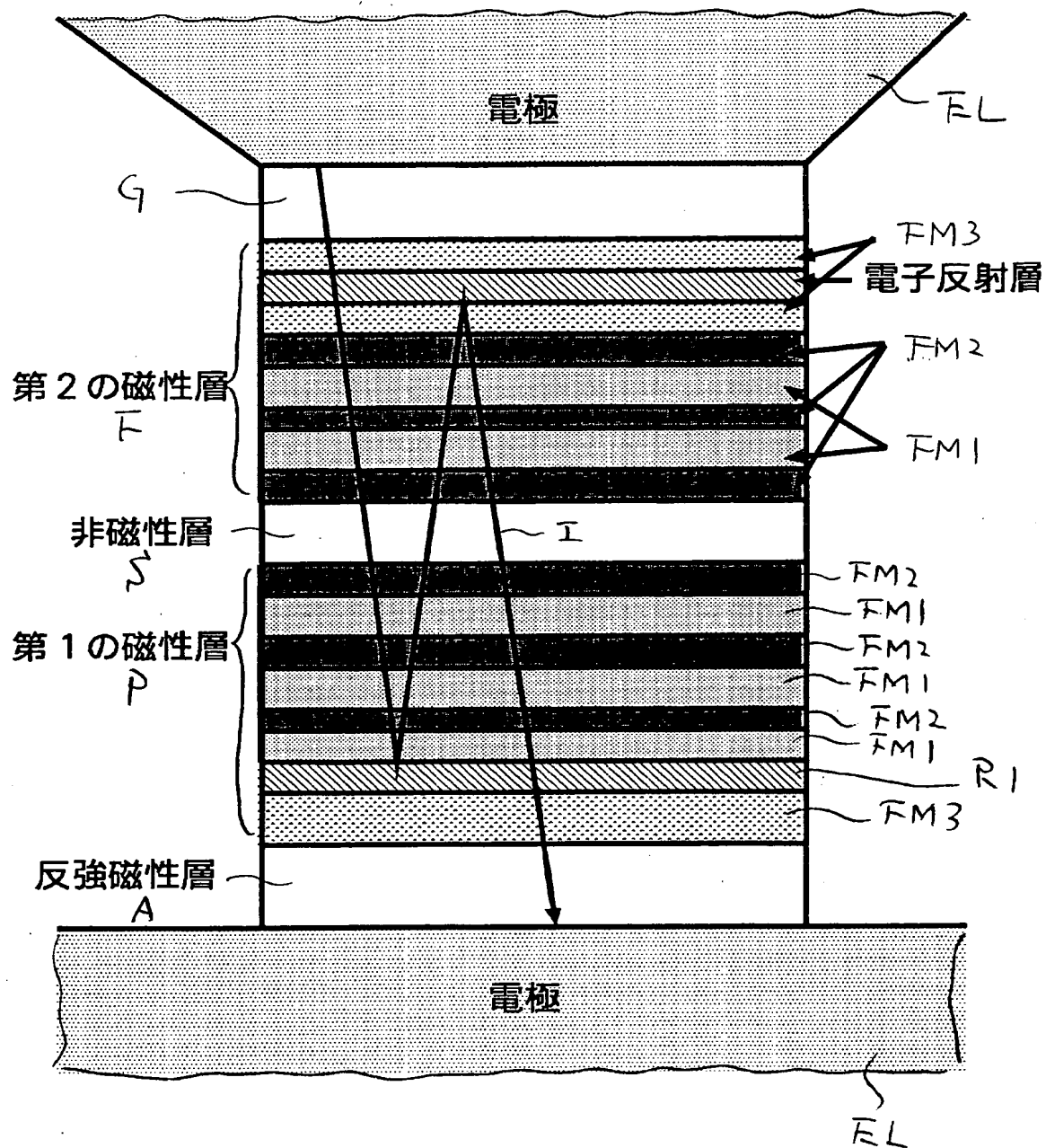
【図12】



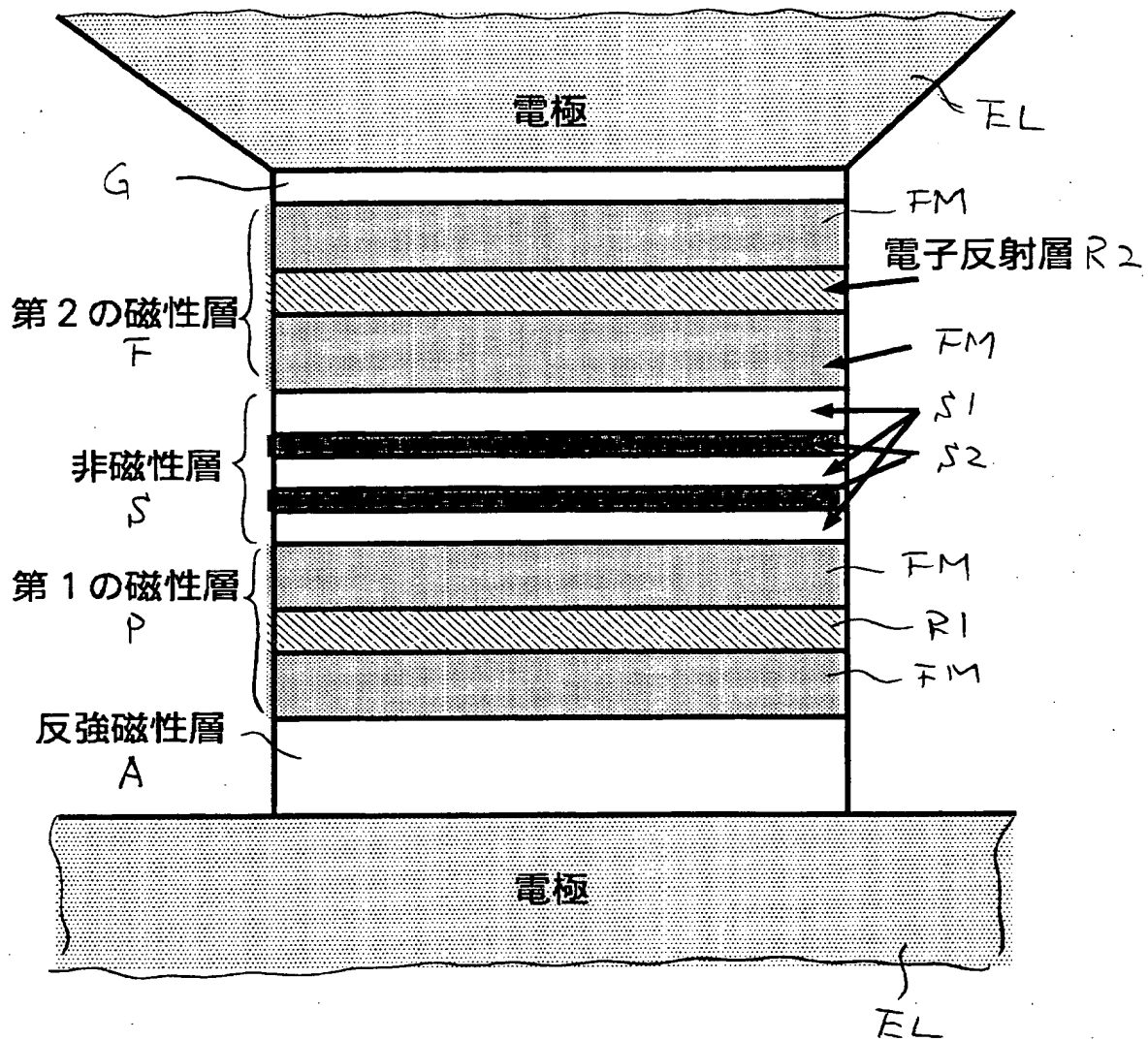
【図13】



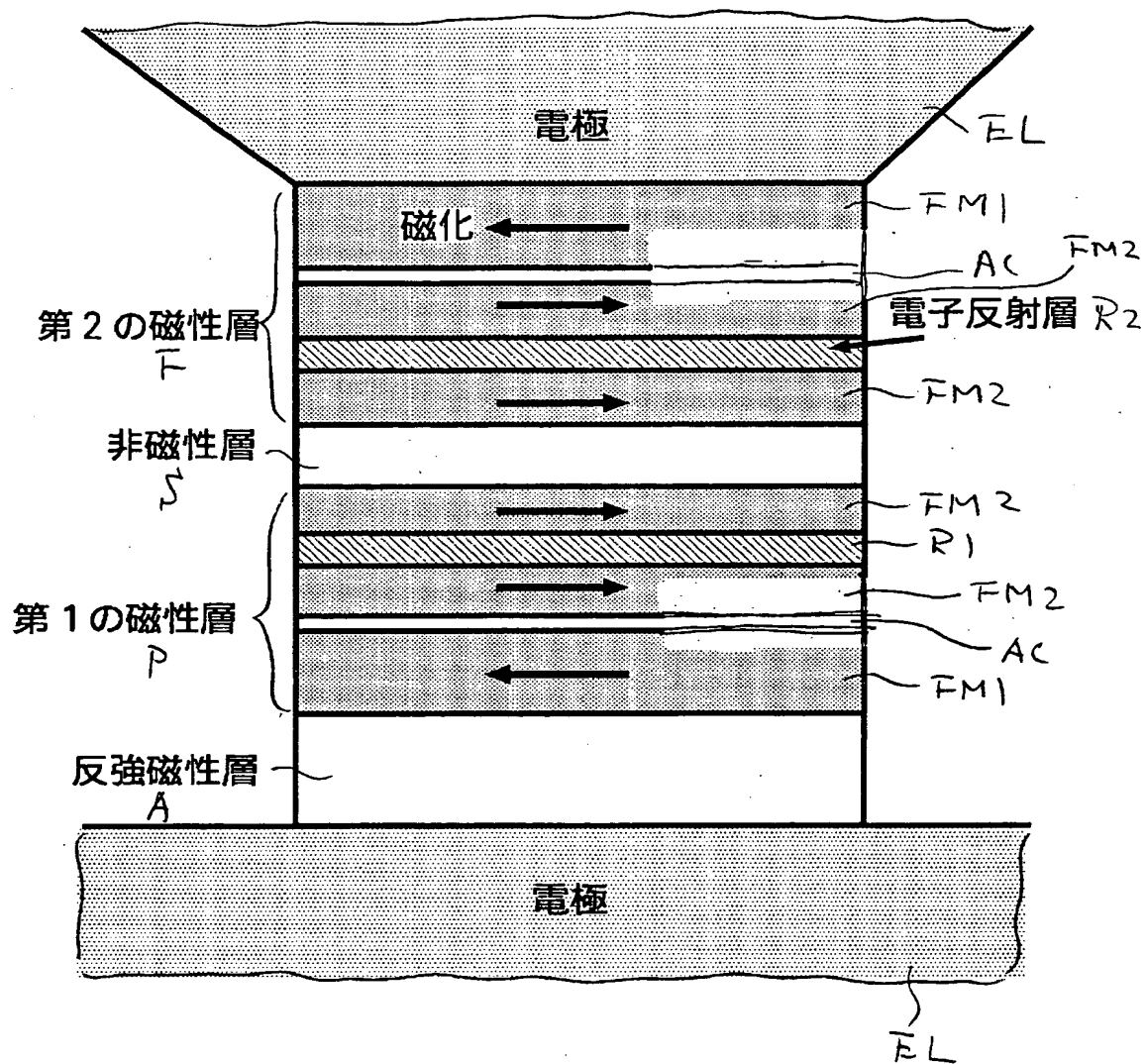
【図14】



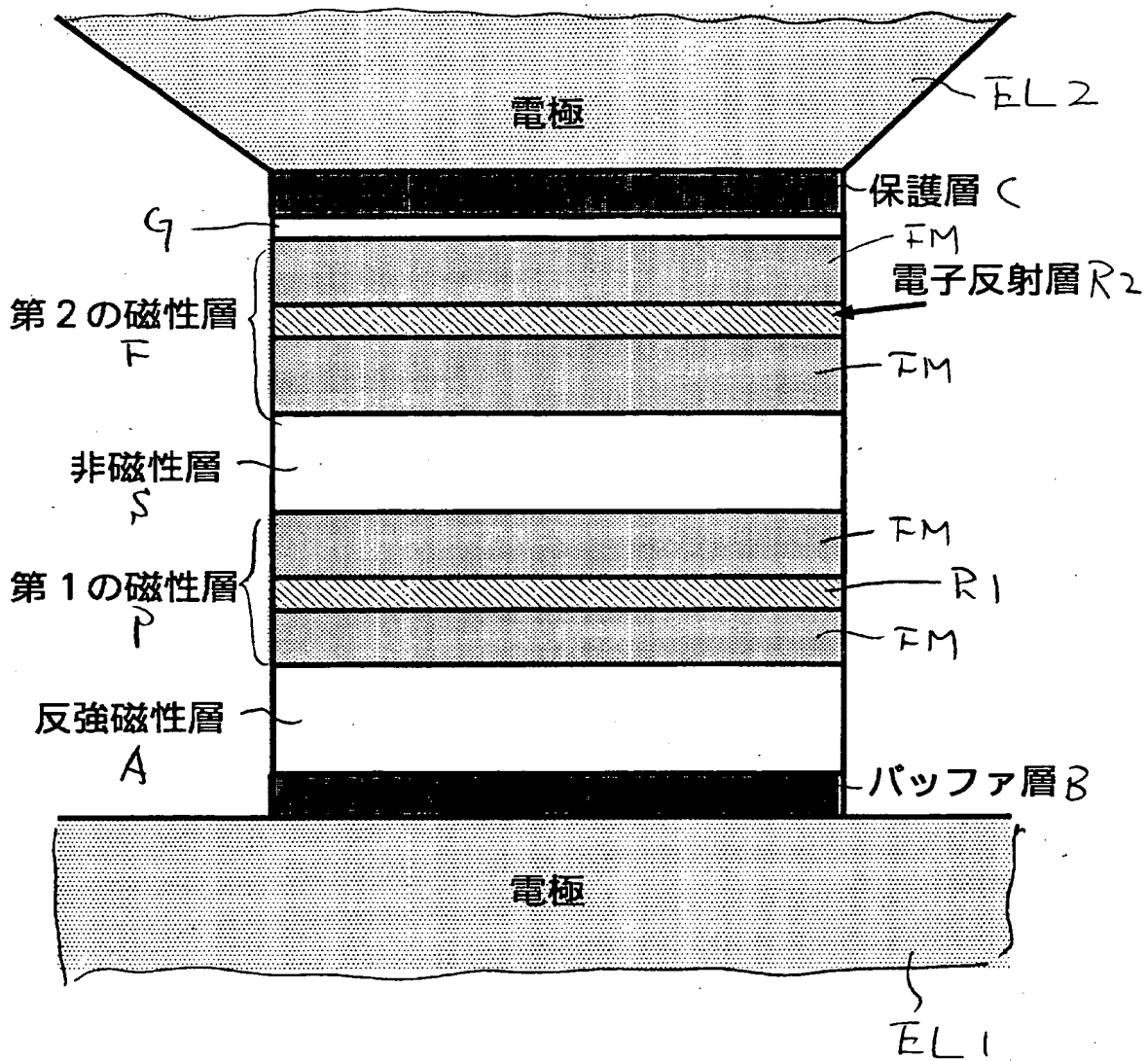
【図15】



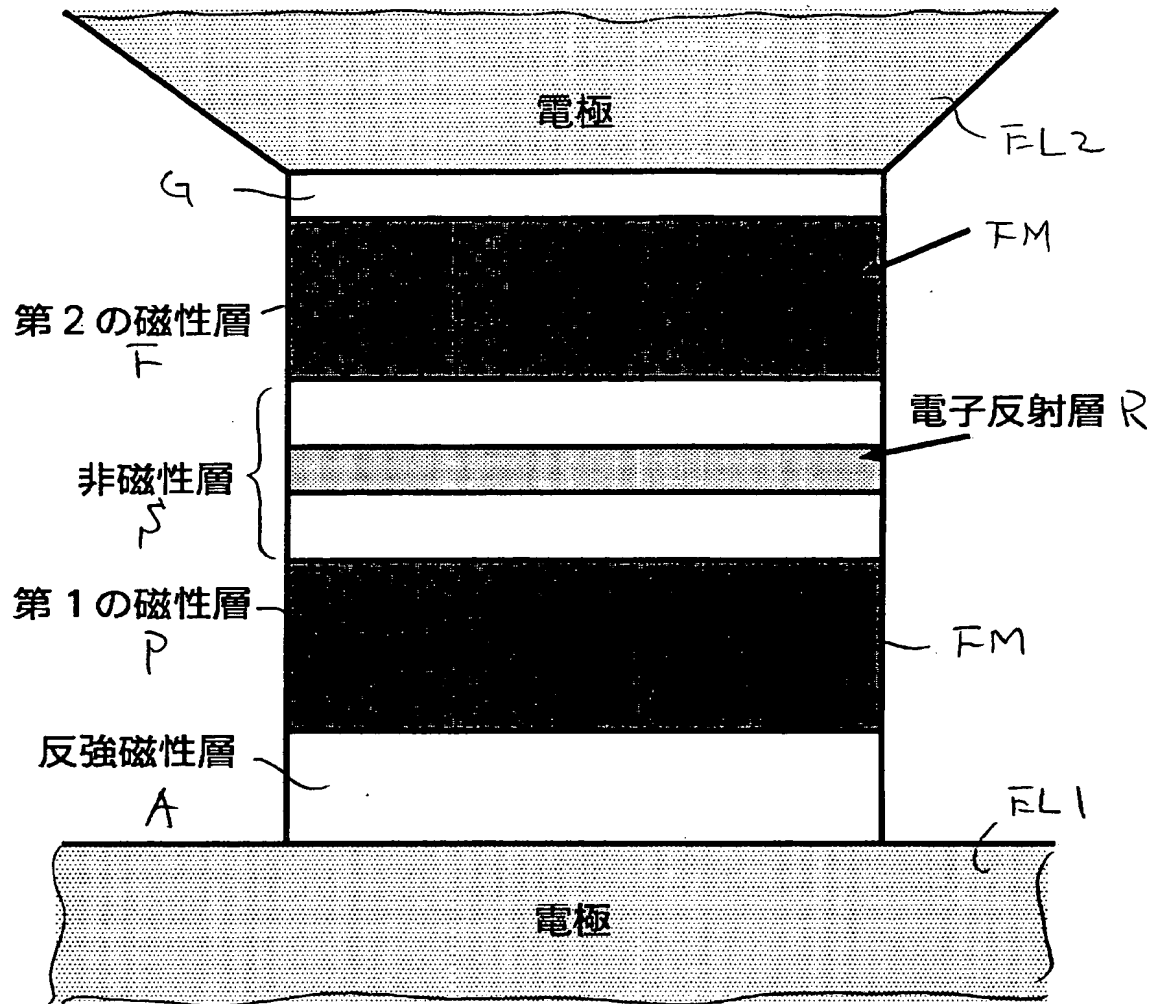
【図16】



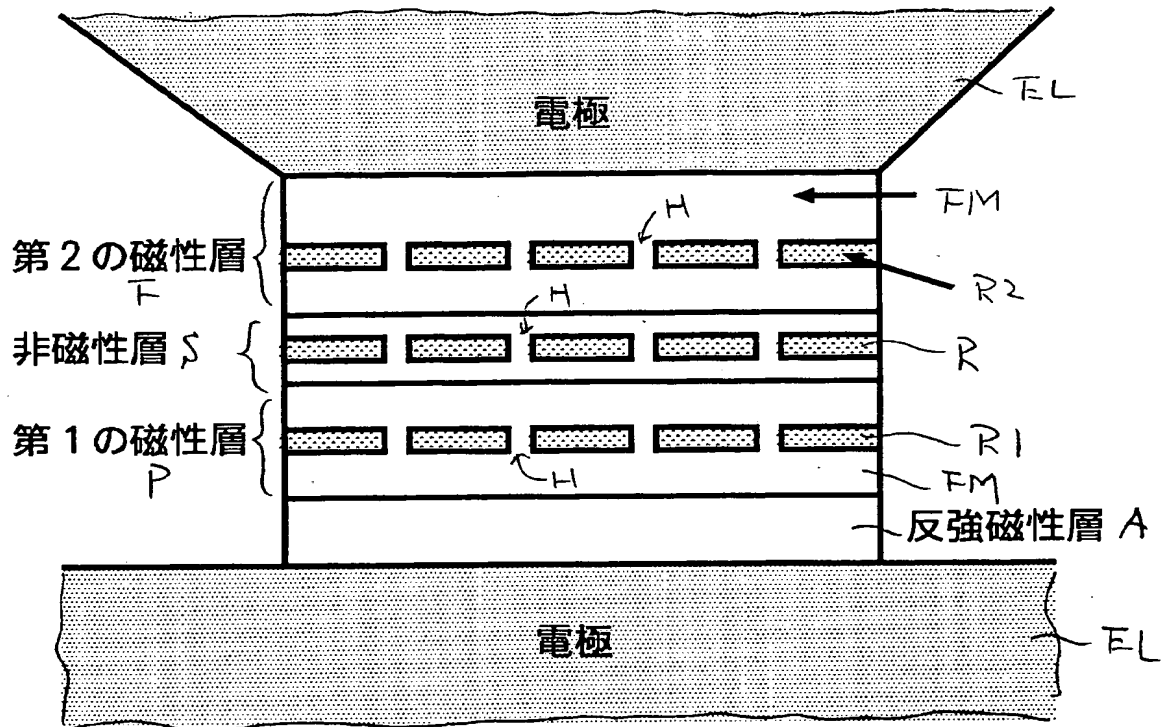
【図 17】



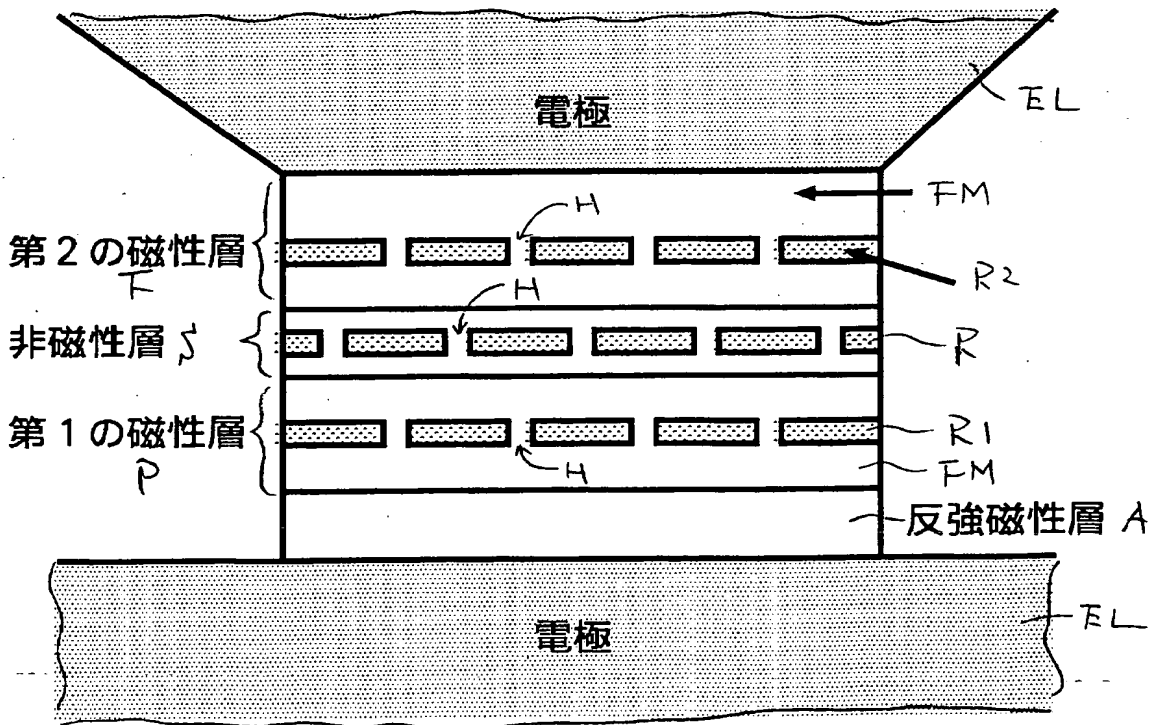
【図18】



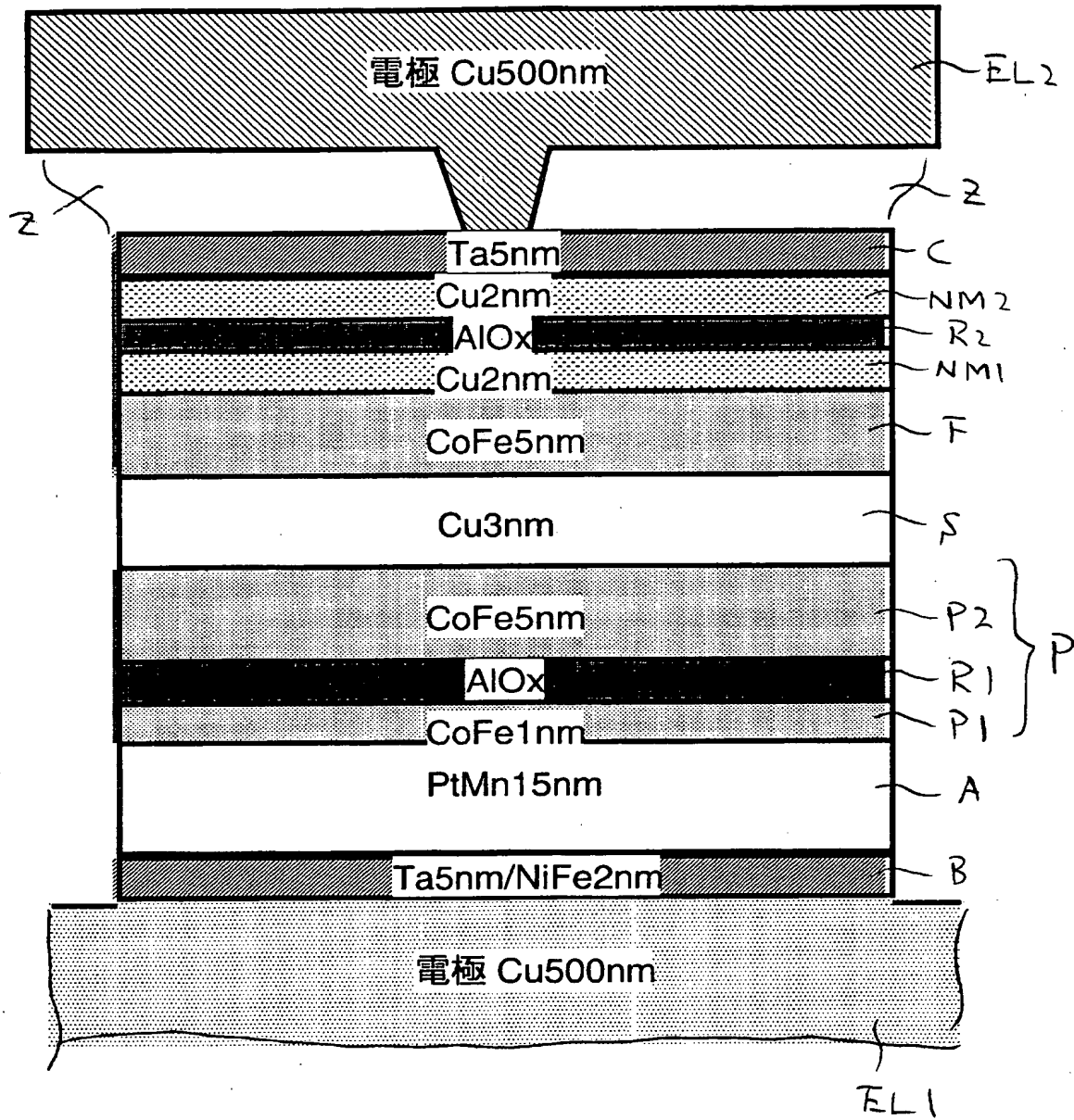
【図 19】



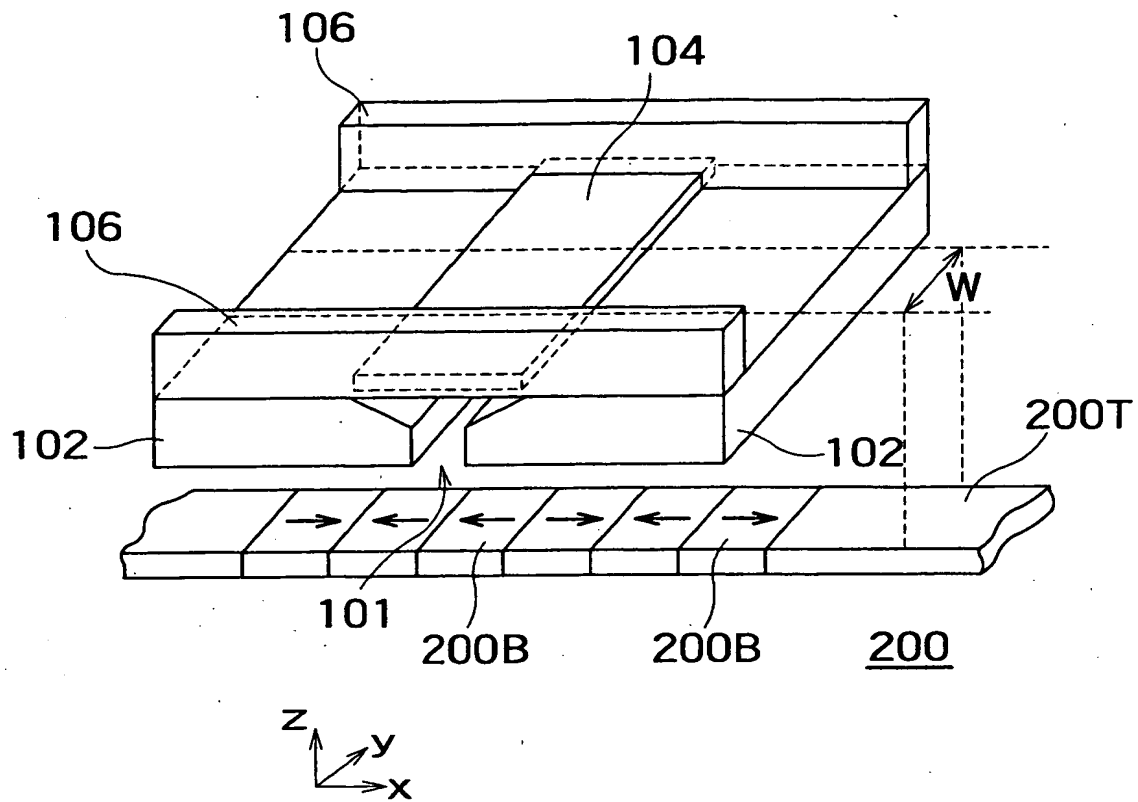
【図 20】



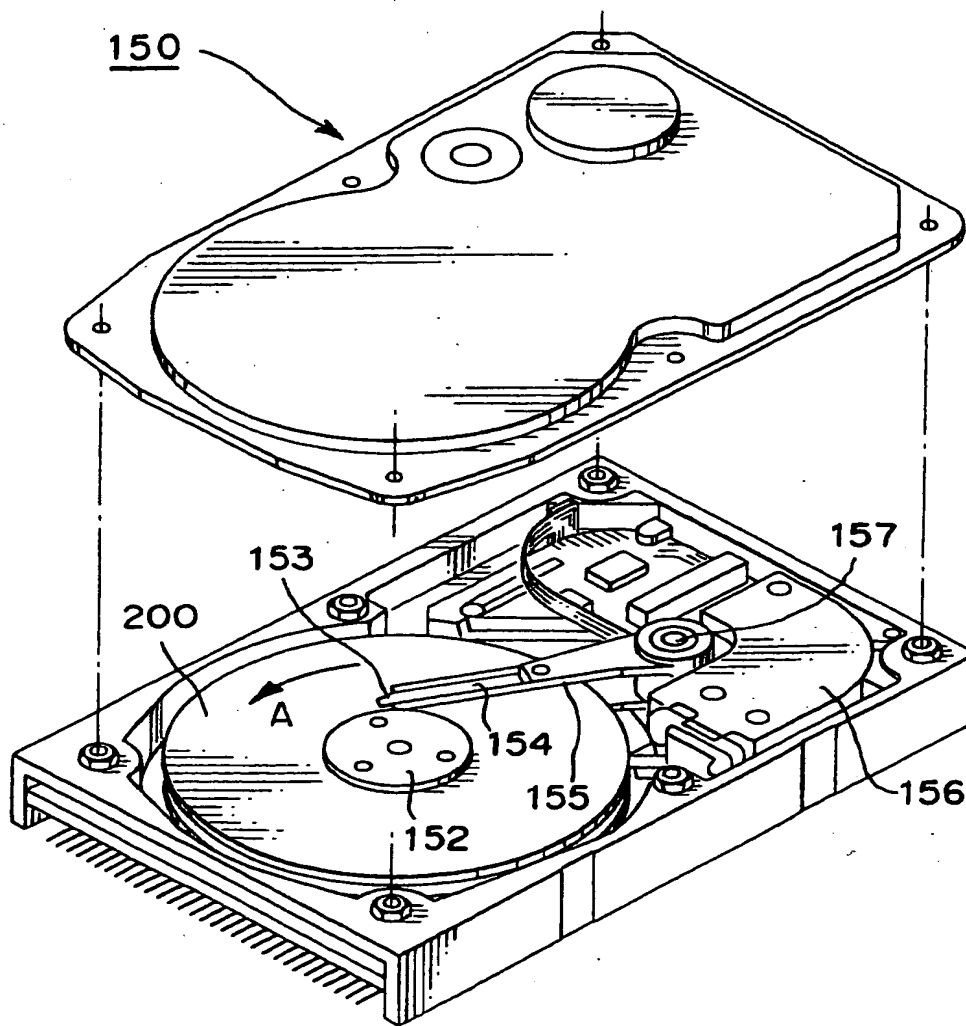
【図 21】



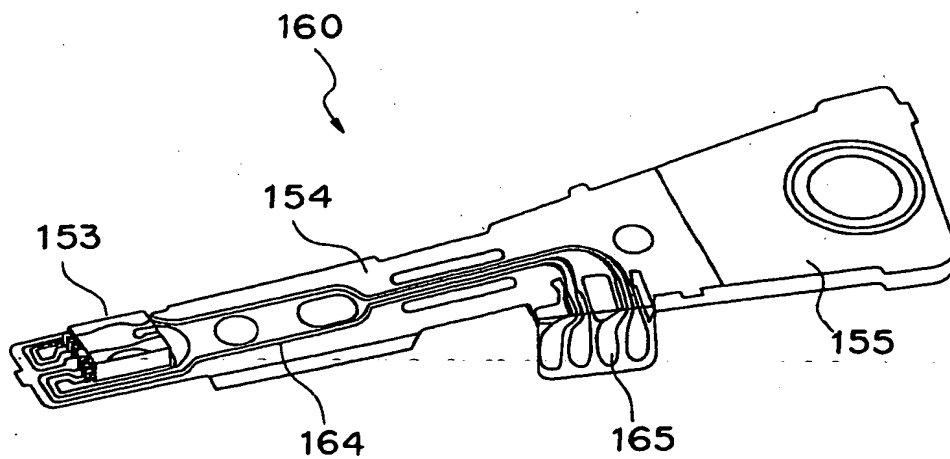
【図 2 2】



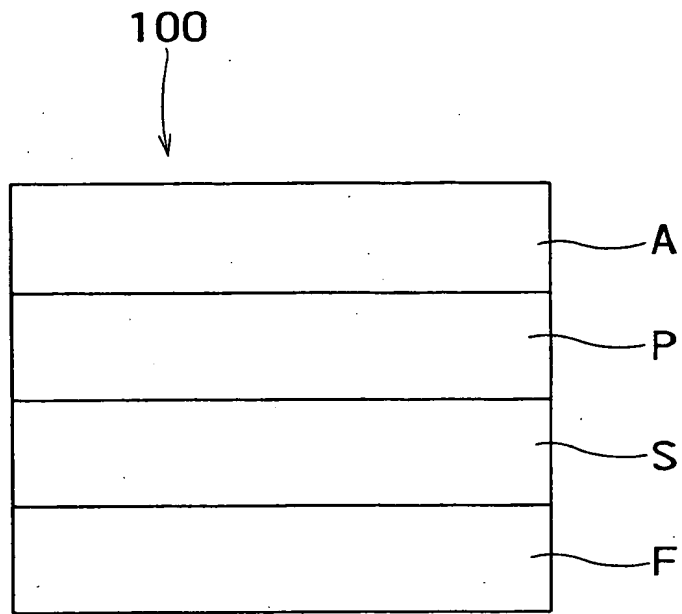
【図 23】



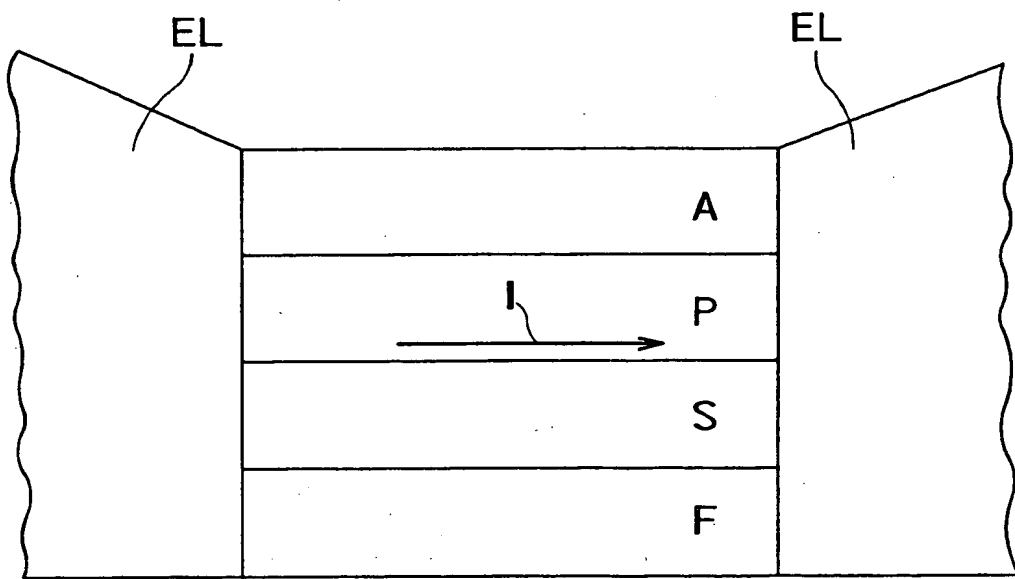
【図 24】



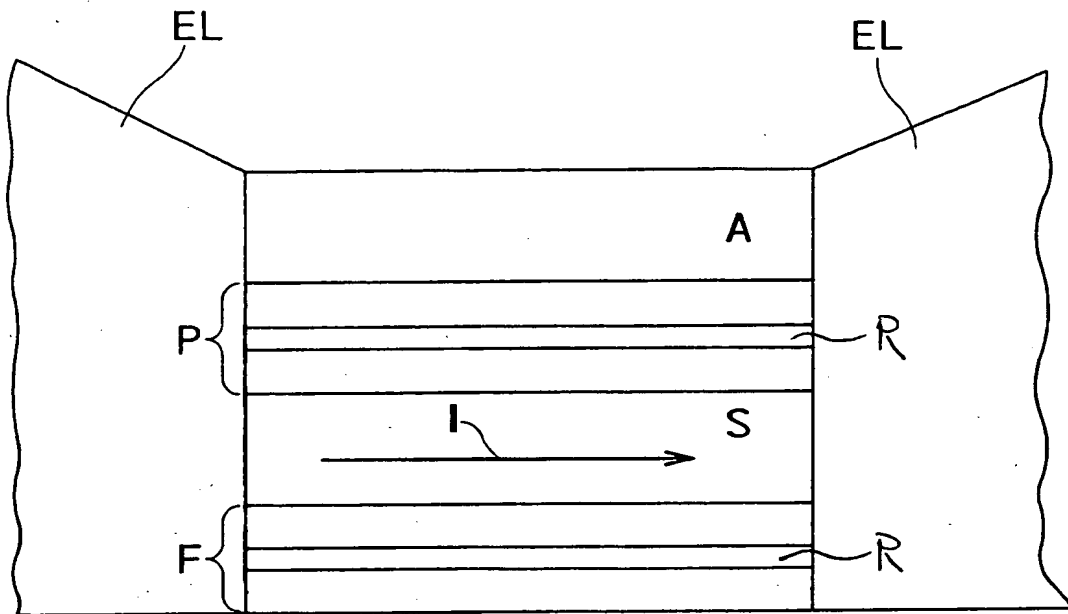
【図 2 5】



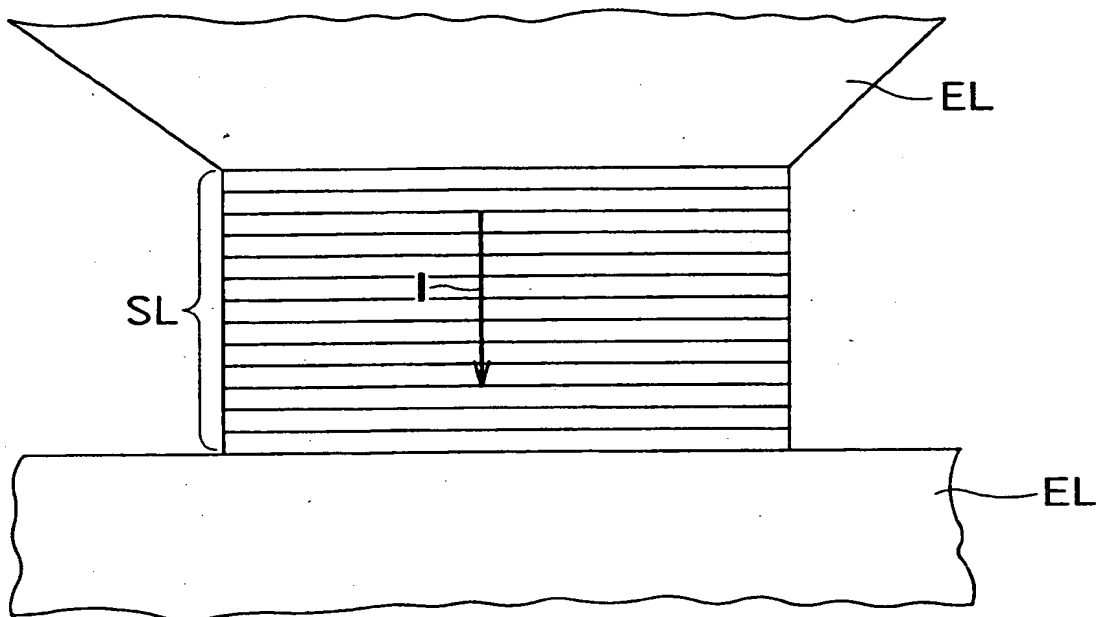
【図 2 6】



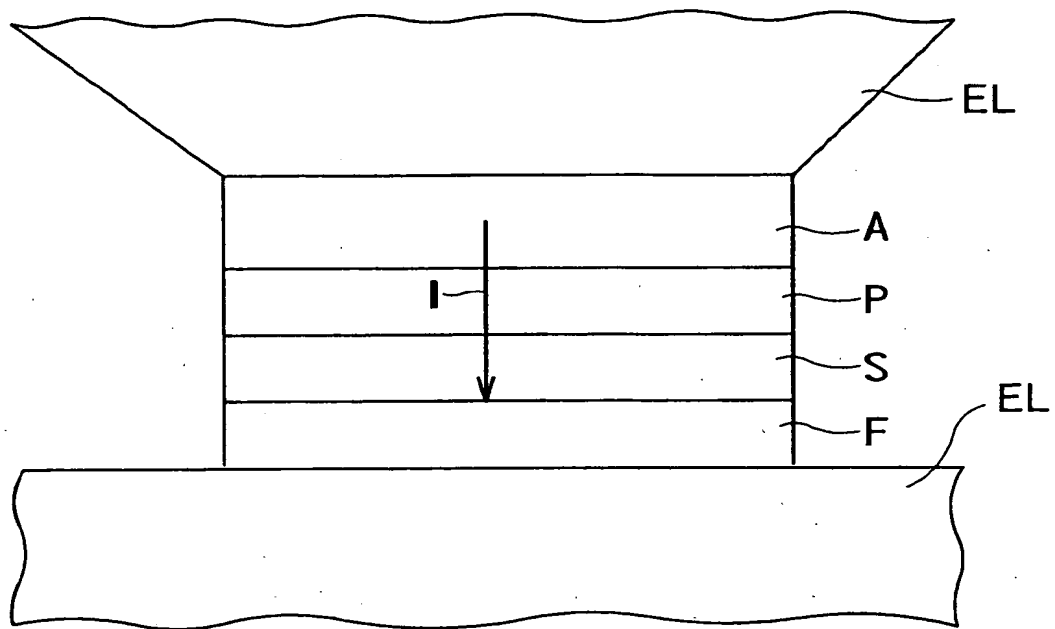
【図 27】



【図 28】



【図 2 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 適当な抵抗値を有し、高感度化が可能で、かつ制御すべき磁性体層の数の少ない、実用的な磁気抵抗効果素子、それを用いた磁気ヘッド及び磁気再生装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 センス電流を膜面に対して垂直方向に流す磁気抵抗効果素子において、ピン層、フリー層あるいは非磁性中間層の少なくともいずれかに電子反射層を設ける。電子反射層は、セミメタル、金属あるいは絶縁体により形成することができ、連続膜でもピンホールが設けられていても良い。スピン依存散乱効果を有効的に利用しながら、適当な抵抗値を有し、高感度化が可能で、かつ制御すべき磁性体層の数の少ない、実用的な磁気抵抗効果素子を提供することができる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000003078]

1. 変更年月日 1990年 8月22日
[変更理由] 新規登録
住 所 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地
氏 名 株式会社東芝

2. 変更年月日 2001年 7月 2日
[変更理由] 住所変更
住 所 東京都港区芝浦一丁目1番1号
氏 名 株式会社東芝